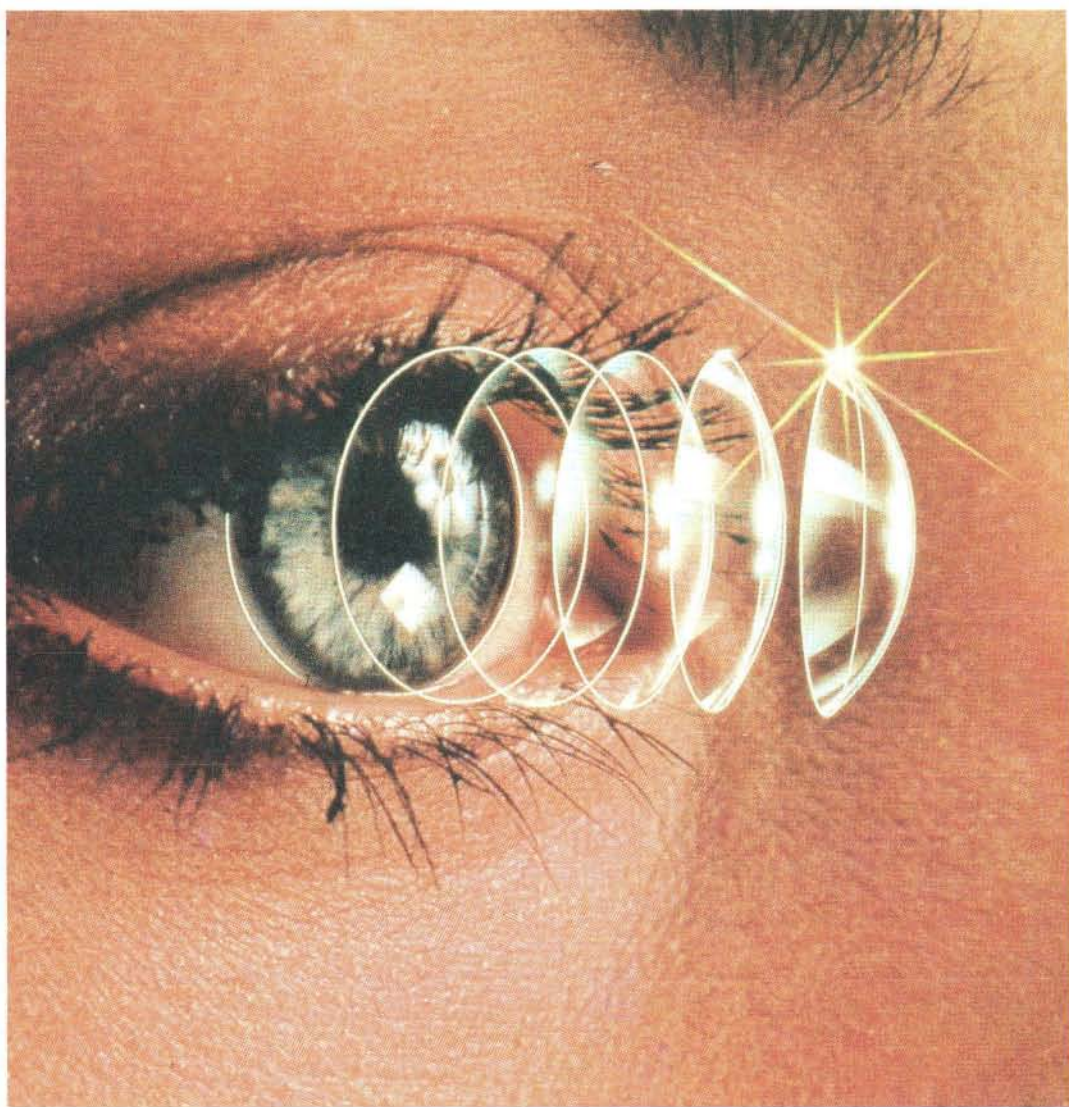


2

56^e jaargang

NATUUR '88 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



CONTACTLENZEN/DE BIOLOGIE INDUSTRIALISEERT/DE KWATTA INDIANEN
BODEMSANERING/HET STADSKLIMAAT/AUTOMATISCHE ANALYSE

WEIZMANN INSTITUUT VAN WETENSCHAPPEN
INTERNATIONAAL WETENSCHAPPELIJK VAKANTIEKAMP

6 juli - 7 augustus 1988

Het Internationaal Wetenschappelijk Vakantiekamp van het Instituut biedt jaarlijks aan een beperkt aantal eindexaminandi de gelegenheid, gedurende de zomervakantie enige tijd in internationaal verband aan wetenschappelijk onderzoek te wijden. Hiertoe wordt voor hen door medewerkers van het Weizmann Instituut een programma georganiseerd bestaande uit colleges, praktisch werk en excursies in Israël.

Het vakantiekamp is bestemd voor **Nederlandse eindexaminandi VWO** van 17-18 jaar. Kandidaten dienen een uitgesproken belangstelling te hebben voor exakte wetenschappen, de Engelse taal zeer goed te beheersen en goed te kunnen samenwerken.

De beurzen voor het Wetenschappelijk Vakantiekamp omvatten de kosten van verblijf en activiteiten in Israël. In de reiskosten dient zelf te worden voorzien.

Aanmeldingsformulieren zijn tot 1 april 1988 verkrijgbaar bij het Nederlands Comité van het Weizmann Instituut van Wetenschappen. Postbus 71043, 1008 BA Amsterdam.

De stilte die écht pijn doet.

Reuma betekent pijn. Je kunt ermee leren leven, maar vergeet het geen moment van de dag. Veel reumapatiënten dragen hun lot in stilte, omdat hun handicap niet zichtbaar is. Stilte, die écht pijn doet.

U kunt er wat aan doen. Uw geld kan voor een reumapatiënt direct omgezet worden in verlichting. Door revalidatie,

hulpmiddelen en onderzoek. Het Reumafonds helpt daarbij. Helpt u het Reumafonds?



REUMABESTRIJDING MOÉT DOORGAAN!

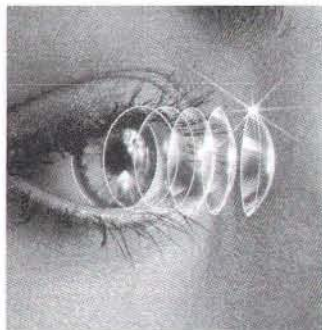
Het Nationaal Reumafonds, Statenlaan 128, 2582 GW
Den Haag. Bankrek.nr.: 70.70.70.848. Giro: 324.

HET NATIONAAL REUMAFONDS

NATUUR '88 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 10,00 of 200 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

Contactlenzen betekenen voor veel mensen het afscheid van de gehate bril. In de loop der jaren zijn reeds vele materialen toegepast, die elk hun voor- en nadelen hadden. De materialen van de lenzen en de fysiologie van het hoornvlies worden behandeld in een artikel op pag. 86 t/m 97.

(Foto: HYDRON Nederland BV, Roosendaal)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs H.E.A. Dassen, Drs W.G.M. Köhler, Drs T.J. Kortbeek.

Secretaris: R. van Eck.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Oldé Juninck.

Redactiemedewerkers: A. de Kool, Drs J.C.J. Masschelein, Drs C.F.M. de Roos, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israel, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluysen, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W. J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R. T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Grafische vormgeving: H. Beurskens, W. Keulers-van den Heuvel, J. Pohlen, M. Verreijt, E. Vijgen, M. Rapparini.

Druk.: VALKENBURG OFFSET b.v., Echt (L.). Tel.: 04754-1223*.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044*.

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044

EURO
ARTIKEL

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), TECHNOLOGY IRELAND (EI), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO SCIENTIFICO (E), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.



Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.

INHOUD

BEZIENSWAARDIG	IV
AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL Toepassing	85
CONTACTLENZEN	86

Een drijvende prothese

W.H. Beekhuis en J. van Nes

Contactlenzen zijn vooral bij jongeren en oudere jongeren populair als prothese om brekingsafwijkingen van het oog te corrigeren. De afgelopen twintig jaar hebben de kleine schijfjes, waarnaar soms zo wanhopig gezocht wordt, zich een vaste positie op de markt van optische artikelen veroverd. Regelmatig ontwikkelden de grote fabrikanten uit nieuwe materialen lenzen die steeds beter door het oog verdragen worden. Er bestaan zelfs al lenzen die meerdere dagen achtereen gedragen kunnen worden. De zuurstofdoorlatendheid is dan een belangrijke factor.



SYNTHETISCHE BIOLOGIE

98

De biologie industrialiseert

E.-L. Winnacker

Wetenschappelijke resultaten die een revolutie in de industrie ontketenen zijn zeldzaam. De synthese van ureum was zo'n uitzondering. Deze prestatie van de Duitser Wöhler uit 1828 legde de basis voor de chemische industrie. Bijna 160 jaar later, in 1976, gaf Har Gobind Khorana het startschot voor de synthetische biologie, toen hij er in slaagde om een kunstmatig gen in een levende cel tot expressie te brengen. De synthetische biologie zal in de komende jaren eenzelfde explosieve ontwikkeling als de synthetische chemie doormaken.



DE KWATTA-INDIANEN

110

Vroege bewoners van Suriname

M.R. Khudabux en Tj.D. Brintjes

In de jaren vijftig werd in het Kwatta-gebied, nabij Paramaribo, tijdens de bewerking van een akker menselijk botmateriaal gevonden. Het ging om resten van Indiaanse bewoners van deze streek uit 800 tot 1000 na Christus. De vondsten waren aanleiding tot het verrichten van verschillende opgravingen in dit gebied en inmiddels zijn al meer dan 50 skeletten geborgen. Dit is tot nog toe de grootste collectie skeletten van Pre-Columbiaanse Indianen in het noordelijk deel van Zuid-Amerika. Wat leert het materiaal ons over deze mensen?



NATUUR '88 & TECHNIEK

februari /56° jaargang/1988



BODEMSANERING

120

Opruimen van een erfenis

W.J. van den Brink

Voor de meeste Nederlanders begon het in 1980 in Lekkerkerk. Daar werd het eerste echt grote geval van bodemverontreiniging aan het licht gebracht. Inmiddels is van enkele duizenden terreinen in Nederland en België bekend dat ze vervuild zijn. De noodzakelijke maatregelen kosten miljarden. Bodemverontreinigingen doen zich in een groot aantal vormen voor. Dat schept problemen als het er om gaat te beoordelen hoe ernstig de vervuiling in een bepaald geval is en wat de meest geëigende manier is om er het hoofd aan te bieden. Daarvoor zijn veel technieken beschikbaar.



BUITENKLIMAAT

134

Het stadsklimaat

J.A. Wisse

Willen wij open gebouwde woonwijken en stadscentra met veel ruimte voor zon, wind, verkeer en parkeren? Willen we enkele hoge gebouwen met veel allure of kiezen we voor smalle kronkelige straten? Onze keuze betekent, bewust of onbewust, ook een keuze voor een klimaatverandering. Ontwerpers van de gebouwde omgeving kunnen het klimaat verbeteren of verslechteren. Dit artikel gaat over het verband tussen het klimaat en de geometrie van een stad. De mens is daarbij norm: hoe kunnen de maten van de gebouwde omgeving de kans op comfort vergroten?



CONTINUE STROOM

146

Automatische analyse

J.J. Heeren

Niet zo lang geleden werd de museumcollectie van de fameuze Smithsonian Institution in Washington DC uitgebreid met een bijzonder stuk: een exemplaar van de eerste generatie AutoAnalyzer. Dit apparaat, bekend bij nagenoeg iedereen die ooit in een klinisch-chemisch laboratorium gewerkt heeft, kreeg daarmee de status van cultuurmonument. De verschijning van het apparaat in 1957 markeert het begin van de massale en geavanceerde mechanisering en automatisering in de klinische chemie.

ACTUEEL

154

ANALYSE EN KATALYSE

160

Als twee druppels water/Psycholoog contra psycholoog/
Een veilig gevoel

PRIJSVRAAG/TOETSVRAGEN/FOTO VAN DE MAAND

171

Het Groote Museum

Wijnanda Deroo is een fotografe, opgeleid aan de Akademie voor Beeldende Kunsten in Arnhem. Tijdens en meteen na de opleiding begon ze interieurs op te nemen. Het kenmerk van Wijnanda Deroo's foto's is dat ze een proces weergeven. De geschiedenis van een gebouw, een kamer, een raam zit in de opname gevangen en ook wat nog in de interieurs is voorgevallen: het neerdalen van stof, het craqueluren van de lak, het naar beneden vallen van stukjes gips. Ook het zachtjes kraken van oude gebouwen, hun muffe geur is te 'zien'.

Het 'Groote Museum' was van 1855 tot 1949 een Zoologisch Museum. De verzamelingen van Artis en het museum waren er te bezichtigen. In een statig interieur werd een zo volledig mogelijk overzicht gegeven van de dierenwereld. Opgezette zoogdieren en vogels vooral, maar ook schelpen, insecten en andere ongewervelde dieren werden er tentoongesteld. De ordening van het museum was diersystematisch: alle soorten olifanten bijeen, alle soorten zebra's, alle soorten hoenders enzovoort. Na 1949 werd het museum onveilig verklaard en voor het publiek gesloten. Het Groote Museum diende steeds meer als opslag en depot voor de wetenschappelijke collectie van het Zoologisch Museum. Geld voor veranderingen, verbeteringen en aanpassingen was er nooit: er was geen verwarming, geen beheersing van het klimaat, zelfs haast geen verlichting. Er was alleen verval. Aan deze langzame verkrotting en verstopping is nu een eind gekomen. De verzamelingen krijgen eindelijk een verantwoorde behuizing.

Maar door het geldgebrek behield het interieur wel al zijn oorspronkelijke kenmerken. Het ontsnapt aan de verbouwingstendensen van de jaren zestig en zeventig.

Juist daarom raakte Wijnanda Deroo erin geïnteresseerd. Ze legde het interieur vast. De foto's worden nu van 11 maart tot en met 11 juli tentoongesteld in het Zoologisch Museum, Plantage Middenlaan 53 in Amsterdam. Het museum is gesloten op maandag en zaterdag, overigens geopend van 9.00 tot 17.00 uur. Inlichtingen ☎ 020-5256619.

Twee culturen

Het Genootschap voor de Geschiedenis van de Geneeskunde, Wiskunde, Natuurwetenschappen en Techniek (GeWiNa) organiseert naar aanleiding van haar vijftienzeventigjarig bestaan een symposium. In een zestal voordrachten wordt de splitsing van de wetenschappelijke kennis in een natuurwetenschappelijke en een culturele tak geanalyseerd. Naast een aantal historische invalshoeken zal ook de hedendaagse problematiek, die het gevolg van deze splitsing is, aan de orde komen.

Als sprekers zullen optreden: Prof dr K. van Berkel, prof dr H.B.G. Casimir, prof dr H.F. Cohen, prof dr S. Dresden, prof dr W. Frijhoff en prof dr J.J.A. Mooy.

Het symposium vindt plaats op 4 juni 1988 en zal gehouden worden in de Koningszaal van het gebouw Artis in Amsterdam.

Belangstellenden kunnen zich aanmelden bij het secretariaat van het Genootschap GeWiNa, Veenendaalkade 463, 2547 AL 's Gravenhage, waarna te zijner tijd een aanmeldingsformulier alsmede een programma toegestuurd zal worden.

De kosten van dit symposium zullen f 30,- bedragen (voor leden van GeWiNa f 15,-). De lezingen zullen in de loop van dit jaar uitgegeven worden in de congresbundel, die de deelnemers gratis toegestuurd zal worden.

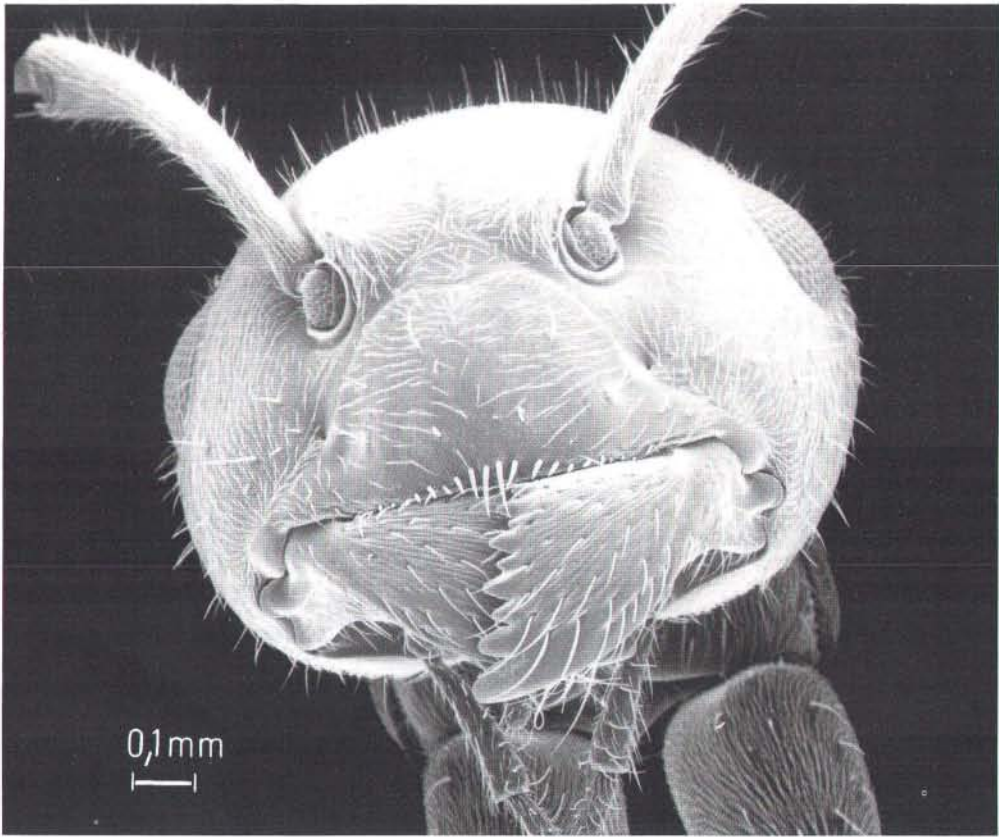
Duin in het Museon

In het Haagse onderwijsmuseum Museon is een nieuwe zaal geopend, die behoort tot de vaste presentaties van de afdeling Biologie en Milieukunde. Deze zaal is ingericht rond het thema 'Duinen' en laat iets zien van een van de mooiste natuurgebieden in en rond Den Haag. De zaal 'De Duinen' kwam tot stand dank zij nauwe samenwerking tussen de gemeentelijke diensten Museon en de Duinwaterleiding van 's Gravenhage. Bureau Van Raalte zorgde voor de vormgeving.

Getracht is op anschouwelijke wijze de bezoeker te confronteren met de elementen, die zo kenmerkend zijn voor het duin: licht, rust en ruimte. Hierbij is gebruik gemaakt van verlichting en geluidseffecten. Bij binnenkomst ervaart de bezoeker een zee van licht. De geluiden rondom hem beginnen met zee en strand, gevolgd door de rust van het duin en tenslotte klinken opdringende stadsgeluiden. Onder de voeten 'vertelt' het duinkonijn zijn verhaal. Boven de zee vliegen vogels en boven het land zijn de geluiden van enkele karakteristieke duinvogels hoorbaar. Een vijftal maquettes laat zien hoe het duin zich sinds de middeleeuwen heeft ontwikkeld. Daarbij is ook de invloed van het menselijke handelen duidelijk gemaakt. Zo was de verdroging in de eerste helft van deze eeuw een gevolg van de waterwinning. Pas later werd dit gevolgd door de infiltratie met rivierwater om drinkwater uit te bereiden.

Wie genoeg krijgt van het licht en de warmte kan in een hoekje van de zaal een glaasje water drinken, gratis door de Duinwaterleiding verzorgd.

Het Museon is gevestigd aan de Stadhouderslaan 41, 2517 HV Den Haag. Inlichtingen ☎ 070-514181.



Zespoten in de achtertuin

Vanaf 6 maart 1988 zal in het Natuurmuseum Nijmegen de tentoonstelling 'Zespoten in de achtertuin' te zien zijn, welke samen met de Insektenwerkgroep van de K.N.N.V.-afdeling Nijmegen is samengesteld. Zoals de titel al zegt vormen insecten, zoals ze in onze eigen omgeving te bewonderen zijn, het thema van deze tijdelijke tentoonstelling.

Veel mensen denken nogal eenzijdig over insecten: het zouden kriebelige enge beestjes zijn, die als ongedierte voor de mens maar lastig en schadelijk zijn. Het is hoog tijd om opnieuw met deze dieren kennis te maken, en dan

vooral met hun vormenrijkdom, levenscycli en hun biotopen in onze eigen omgeving. Niet alleen exotische insecten uit verre landen zijn mooi, ook in onze achtertuin komen insecten voor die een lust voor het oog zijn.

De tentoonstelling 'Zespoten in de achtertuin' zal, tot aan haar afsluiting op 17 juli 1988, het seizoen nauwgezet volgen dank zij regelmatige vernieuwing. Het voorjaar is immers het insectenseizoen, en het volgen van het insectenleven door die periode heen geeft een extra dimensie aan de tentoonstelling.

In het kader van dit zelfde thema zullen bovendien speciale insecten-excursies worden georganiseerd in de Plantentuin van het Nijmeegse stadspark 'De Gof-

Mieren bewonen graag uw achtertuin, vooral na een zachte winter en als er ook wat tegels liggen. Een makkelijk weggetje naar de provisiekast vinden ze ook heerlijk. (Foto Siemens).

fert'. Schoolgroepen kunnen, op afspraak, een rondleiding door de tentoonstelling ontvangen; speciaal voor scholen zullen lesprogramma's klaarliggen, welke door medewerkers van het Natuurmuseum in de scholen zelf uitgevoerd kunnen worden.

Natuurmuseum Nijmegen, Gerard Noodtstraat 21, 6511 SV Nijmegen, ☎ 080-230749. Openingstijden: ma t/m vr: 10.30-17.00 uur, zo: 13.00-17.00 uur. Zaterdags gesloten.

Dieren van stal

Op 5 maart wordt in het Allard Pierson Museum, het archeologisch museum van de universiteit van Amsterdam, een expositie geopend over het dier in de oudheid. De tentoonstelling wordt gehouden tot 22 mei onder de titel 'De dieren van stal' en probeert een indruk te geven van de betekenis van het dier bij de Grieken en de Romeinen. De voorwerpen stammen uit de periode van 1000 jaar vóór Christus tot 400 jaar na Christus en zijn afkomstig uit Griekenland, Egypte en Italië.

Mensen houden van dieren. Nu en in de oudheid. Er werd mee gejaagd en geslapen, ze werden ge-

offerd en gegeten. Deze thema's zijn op de tentoonstelling terug te vinden. Het dier is te zien als huisdier en als offerdier. De bezoeker krijgt een indruk van de rol en de betekenis van het dier in het leven van de antieke mens.

De dierenvoorstellingen zijn vervaardigd uit verschillende materialen, zoals brons, terracotta en faience. Ze lopen uiteen van vrij primitief tot geraffineerd en gestileerd, en variëren van schilderingen op vazen tot vrijstaande kleine plastieken. De tentoongestelde stukken zijn voor een groot deel afkomstig uit eigen collectie. Daarnaast worden stukken getoond uit enkele Nederlandse privécollecties, die nooit eerder te zien waren. Bovendien omvat de tentoonstelling nogal wat verrassende diervoorstellin-

gen, zoals een uniek gestileerd bronzen paard uit de achtste eeuw voor Christus en een antiek 'vetstaartschaap' op een mozaïek. Mummies van heilige katten uit Egypte illustreren de diercultus aan de Nijl. Dikke varkentjes van gebakken klei zijn offers voor Etruskische goden.

Het Allard Pierson Museum bezit een uitgebreide collectie Egyptische, Griekse en Romeinse voorwerpen, waarbij de collectie terracotta's uniek is.

Gedurende 'De dieren van stal' blijven de zalen met de vaste collectie te bezichtigen.

Het museum ligt aan de Oude Turfmarkt 127 Amsterdam (tegenover het Rokin) en is het gehele jaar geopend, van dinsdag tot en met zondag. Inlichtingen: ☎ 020-5252556.

Nieuwe materialen

Het Studium Generale van de Leidse universiteit organiseert dit voorjaar een lezingenserie over nieuwe materialen.

Spreekers zijn prof dr H.B.G. Casimir (25 april, inleiding), dr P.H. Kes (2 mei, supergeleiding), prof dr B. Bölger (9 mei, lasers), prof dr F. Meyer (16 mei, optische informatica), prof dr ir A.K. van der Vegt (30 mei, sterke kunststoffen), prof dr K. de Groot en prof dr J.J. Grote (13 juni, biomedische materialen).

De lezingen zijn gratis toegankelijk, beginnen om 20.30 uur en vinden plaats in het Centrale Voorzieningsgebouw, Cleveringaplaats 1, Leiden, in zaal 005 (op 13 juni in zaal 028).

Een map met begeleidende literatuur is vanaf 11 april te koop voor f 12,50 (+ f 4,50 portokosten). Te bestellen door overmaking van het bedrag op giro 489 3767 t.n.v. RU Leiden, Studium Generale, o.v.v. Nieuwe Materialen.



Piezokeramische materialen leveren elektriciteit als ze onder druk worden gezet. Zij vormen een onderdeel van wat tegenwoordig de Nieuwe Materialen worden genoemd (foto Siemens).

Microscopie

Mikroskopie voor op school en thuis. Hans Schouten. Uitgave van de Stichting Media Publieksvoorlichting en Onderwijs (MPO), ISBN 90-72001-02-8. Te bestellen bij de Stichting Mens en Wetenschap, Postbus 108, 1270 AC Huizen, telefoon 02152-58388, of door f 69,-- (inclusief verzendkosten) over te maken op giro 412314 ten name van Stichting M.P.O. te Huizen.

Dit boek lijkt gemaakt te zijn door een zeer enthousiaste amateur. Het geeft een groot aantal ideeën hoe je diverse soorten preparaten voor de microscoop kunt maken. De beschrijvingen daarvan zijn zeer duidelijk; enige

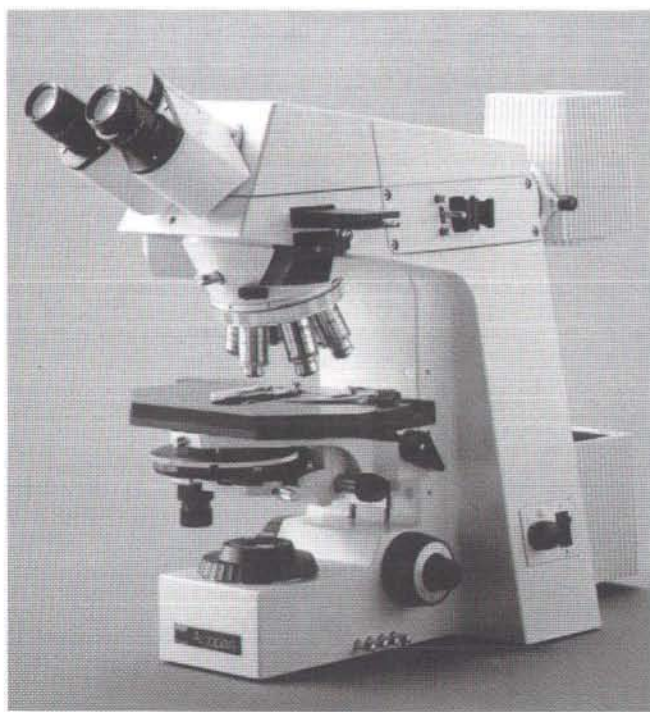
voorkennis om met dit boek te kunnen werken is niet noodzakelijk. De indeling van het boek is jammer genoeg minder duidelijk. Bij de bespreking van de diverse technieken worden namelijk ook steeds allerlei voorbeelden behandeld. Aldus staat er her en der veel stof uit de biologieles tussen technische microscopiegegevens. Met een wat schematischer aanpak zou dat te voorkomen zijn geweest. Enkele zaken worden ook meerdere keren behandeld, zoals bijvoorbeeld het maken van coupes (p. 41 e.v., p. 46 e.v. en nog eens op p. 169 e.v.). Soms had ik behoefte om wat meer te weten over de bronnen van al die kennis. Er wordt namelijk niet gewerkt met literatuurverwijzingen en ook wordt er niets gedaan aan andere vormen

van bronvermelding. Voor een boek van dit betrekkelijk eenvoudige niveau is dat ook niet absoluut noodzakelijk, toch zou het daarmee wel veel in waarde hebben kunnen winnen.

Achtereenvolgens komen aan de orde: de geschiedenis van de microscopie; optische grondslagen; aanschaf; verlichting; snijden van coupes; kleuringen; bewaren van preparaten; tekenen en fotograferen van preparaten; donkerveld-, polarisatie-, fasecontrast- en fluorescentiemicroscopie. Voorbeelden van biologische onderwerpen die behandeld worden zijn: vezels, haren, plankton, waterdruppel, algen, pekelkreeftje, stuifmeel, dennenaalden, insecten, schimmels, zuivelprodukten en hooicultuur. Besloten wordt met een aantal advertenties van leveranciers en adressen waar verdere informatie is te verkrijgen.

Voor de beginnende amateur biedt dit boek zeer veel waardevolle informatie. Het enthousiasme van de auteur spreekt mij ook bijzonder aan: 'Een uurtje kijken door de microscoop is vaak boeiender dan het begluren van de kleurige beeldbuis. Als je een keer een avond lang door een mikroskoop het uitkomen van een eitje of de groei van een schimmel hebt bewonderd, dan raak je daar niet over uitgepraat. Je hebt immers direct contact met het leven'. Het boek geeft hiervoor een uitstekende handleiding.

M.N.B.M. Driessen



Voor de eenvoudige amateur zal de nieuwe Axioplan-serie van Zeiss voorlopig wel een onbereikbaar ideaal blijven. Dit model is ook geschikt voor fasecontrast- en fluorescentiemicroscopie (Foto Zeiss).

Rectificatie Artis

Artis bestaat 150 jaar. In het decembernummer van *Natuur & Techniek* stond een overzicht van de activiteiten in het feestjaar 1988. Het vermelde telefoonnummer waar men inlichtingen kon krijgen heeft wel iets met Artis van doen, maar niet genoeg. Wie inlichtingen wil, belle 020-262833.

Cahiers Bio-wetenschappen en Maatschappij

Ouderschap

De ontwikkeling van de biowetenschappen en veranderingen in gedragspatronen hebben de mogelijkheden van het ouderschap verruimd, zoals *in vitro* bevruchting (reageerbuis-baby's), kunstmatige inseminatie en adoptie. Overheden hebben soms de neiging de bevolkingsaanwas te beïnvloeden.

Een greep uit de inhoud:

Kinderwens en medische techniek
G.H. Zeilmaker

Gezinsvorming
H.J. Heeren

Adoptie van kinderen in nood
R.A.C. Hoksbergen

Ouderschap in juridische zin
M.W. Rood-de Boer

Bevolkingspolitiek
N. van Nimwegen



Het cahier OUDERSCHAP kan besteld worden bij Natuur en Techniek - Informatiecentrum - Postbus 415, 6200 AK Maastricht, tel. 043-254044, vanuit België: 00-3143254044. Het kost f 7,50 (145 F).

AUTEURS

Drs W.H. Beekhuis ('Contactlenzen') is op 11 februari 1944 in Zutphen geboren. Van 1963 tot 1970 studeerde hij geneeskunde in Groningen. Van 1974 tot 1978 specialiseerde hij zich tot oogarts, waarna hij twee jaar in Kenya werkte. Sinds 1980 is hij verbonden aan het Oogziekenhuis in Rotterdam.

J. van Nes ('Contactlenzen') is geboren in Rotterdam op 29 mei 1946. Nadat hij opleidingen tot opticien en contactlenzenspecialist voltooide, trad hij in dienst van de firma Oculenti. Hij voert zijn werkzaamheden uit in het Rotterdams Oogziekenhuis en de Oogkliniek van de VU in Amsterdam.

Prof dr E.-L. Winnacker ('Synthetische biologie') studeerde scheikunde aan de ETH in Zürich, waar hij ook promoveerde. Daarna trok hij naar Keulen, waar hij zich in de moleculaire biologie verdiepte. Sinds 1980 is hij hoogleraar biochemie aan de Universität München, waar hij leider van het 'Genzentrum' is.

Drs M.R. Khudabux ('Kwatta-indianen') is op 9 januari 1953 geboren. Hij studeerde geneeskunde aan de Universiteit van Suriname en behaalde in 1980 het artsexamen. Sinds 1982 is hij verbonden aan de Universiteit van Suriname als docent anatomie. Hij richt er onderzoek aan skeletmateriaal.

Drs Tj.D. Brintjes ('Kwatta-indianen') is te Zevenbergen geboren op 17 juni 1963. Sinds 1982 studeert hij geneeskunde aan de Rijksuniversiteit Leiden. In 1986 rondde hij zijn doktoraal af met skeletonderzoek aan Pre-Columbiaanse Indianen in Suriname. Daarna werkte hij bij Instituut voor Antropobiologie te Utrecht.

Drs W.J. van den Brink ('Bodemsanering') is op 6 februari 1951 in Amsterdam geboren. Van 1969 tot 1978 studeerde hij biologie aan de Vrije Universiteit te Amsterdam. Sinds 1982 is hij wetenschapsvoorlichter bij de Centrale Stafafdeling In- en Externe Communicatie van TNO in Den Haag.

Prof ir J.A. Wisse ('Klimaat') is geboren in Den Haag op 20 januari 1939. Hij studeerde technische natuurkunde aan de TU Delft. Daarna nam hij deel aan de Belgisch-Nederlandse Antarctische Expeditie. In 1966 trad hij in dienst van het KNMI. Sinds 1986 is hij deeltijd hoogleraar buitenklimaat bij de faculteit Bouwkunde van de TU Eindhoven.

Drs J.J. Heeren ('AutoAnalyzer') is in 1938 in Tilburg geboren. Hij studeerde chemie te Tilburg, Eindhoven en Utrecht. Hij werkte daarna bij DSM en, in VN-verband, in het Midden-Oosten. Momenteel is hij als docent verbonden aan de Hogeschool West-Brabant.

Toepassing

Naar alle waarschijnlijkheid heeft Winnacker gelijk met zijn betoog, op pag. 98, dat de mogelijkheden tot genetische manipulatie de basis zullen vormen voor een industriële ontwikkeling vergelijkbaar met die van de organisch-chemische industrie. Sterker nog, het laat zich gemakkelijk denken dat de invloed van deze manipulatie op de wereldeconomie en ook op andere delen van het menselijke bestaan de betekenis van de huidige chemie verre zal kunnen overtreffen.

In beginsel kan er een reeks geneesmiddelen ter beschikking komen waarvan men nu nog slechts kan dromen. Voedselproductie onafhankelijk van bodem en klimaat is denkbaar, evenals bijvoorbeeld het inbouwen van resistentie in alle levende wezens tegen ziektes en het voorkomen van afwijkingen. Uiteraard is dat allemaal niet onproblematisch. Zulke veranderingen zouden ook ten koste gaan van veel wat nu wordt gewaardeerd. Zoals de meekrapboeren geen bestaan meer hebben in een wereld waarin de verfstoffen worden gesynthetiseerd, zou een groot deel van de huidige landbouw en veeteelt wel eens kunnen verdwijnen. En menigeen zal zich toch even achter de oren krabben bij het denkbeeld van verbetering van de mens.

Maar wat *kan* gebeuren *hoeft* nog niet te gebeuren. Daarbij kunnen morele overwegingen een rol spelen, maar die zijn, althans tot dusverre, in de praktijk tamelijk beperkt geweest. Wat wel precies een rol speelt is niet zo duidelijk. De economie natuurlijk: wat niet economisch haalbaar is wordt niet gemaakt.

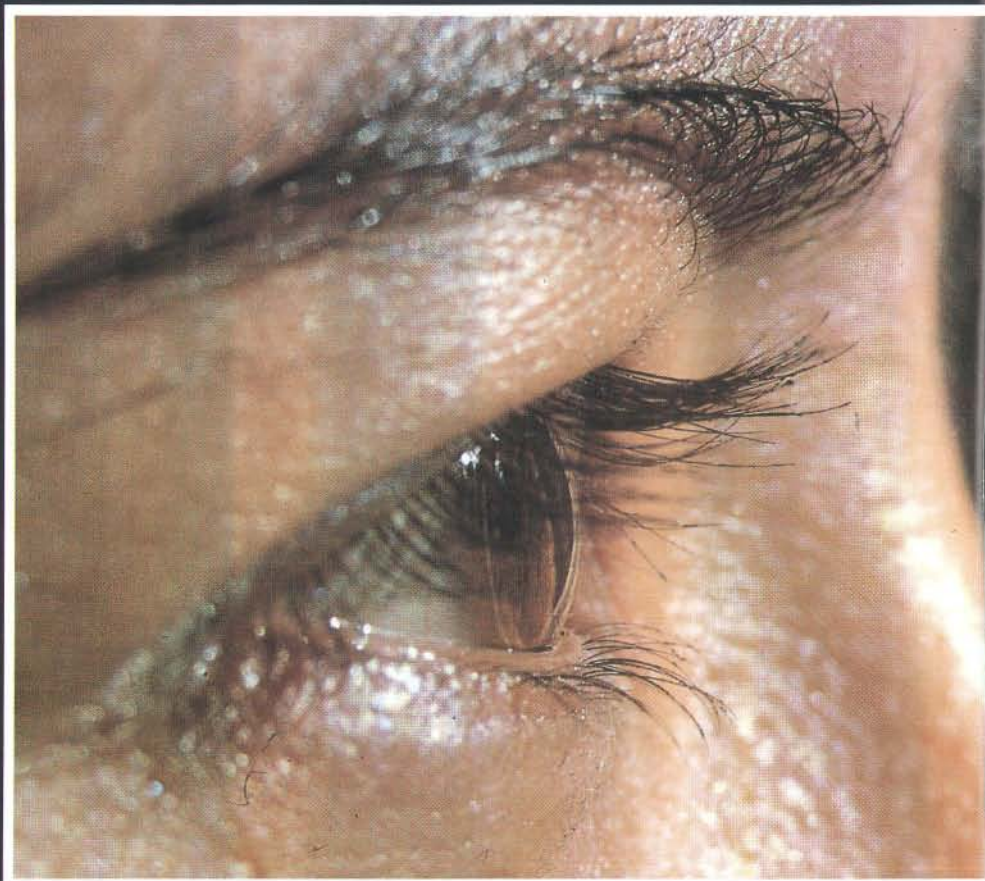
Maar zo gesteld is economie een uiterst vaag, bijna mystiek begrip. Zouden economisch rendabele kunstmanen ook rendabel zijn als alle voorafgaande kosten van raketontwikkeling enzovoorts op die objecten worden afgeschreven? In tegenstelling tot de algemene opvattingen – de aan het mystieke grenzende overtuiging – is de economie van de meeste automatiseringsprojecten helemaal niet zo zonneklaar.

Daar staan andere voorbeelden tegenover. Al bijna tachtig jaar is in beginsel het verliesvrij transporteren van elektrische energie mogelijk. Op het eerste gezicht lijkt dat economisch zeer aantrekkelijk. In werkelijkheid zijn de toepassingen van deze mogelijkheid nog uiterst beperkt. Er zijn voorbeelden van op zich beschouwd superieure technieken die het loodje hebben moeten leggen tegen andere, minder geavanceerde.

Hoe dat allemaal precies zit is eigenlijk onduidelijk. Er zijn veel verklarende modellen, met economie en economische macht als middelpunt (iets zou grotere kans op succes hebben als het de macht van de economisch machtigen vergroot), maar tegen elk model zijn voorbeelden aan te voeren die er niet mee kunnen worden verklaard.

De onvoorspelbaarheid is nog gekoppeld aan een tijdsfactor. Prof H.B.G. Casimir heeft betoogd, dat – alweer in tegenstelling tot een algemeen geloof – de tijd tussen fundamentele ontdekking en grootscheepse industriële toepassing eerder langer dan korter wordt en in elk geval op een jaar of veertig moet worden gesteld. En dat betekent, dat het nu nog rijkelijk vroeg is om over Winnackers gelijk te oordelen.

CONTA



CT LENZEN

W.H. Beekhuis

J. van Nes

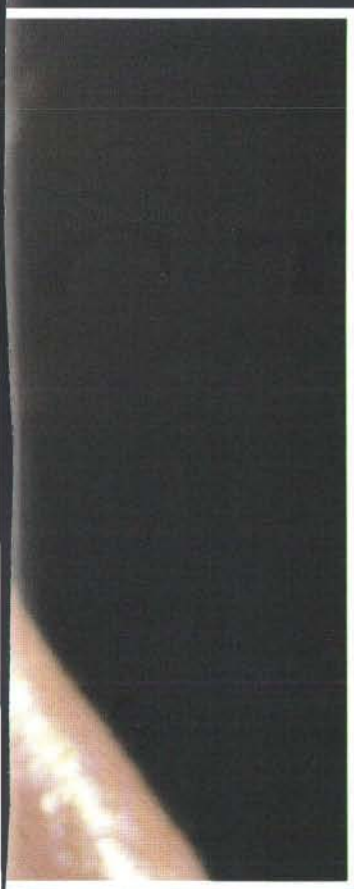
Oogziekenhuis
Rotterdam

DE DRIJVENDE PROTHESE

Contactlenzen zijn vooral bij jongeren en oudere jongeren populair als prothese om brekingsafwijkingen van het oog te corrigeren. De afgelopen twintig jaar hebben de kleine schijfjes, waar naar soms zo wanhopig gezocht wordt, zich een vaste positie op de markt van optische artikelen veroverd.

Regelmatig ontwikkelen de grote fabrikanten uit nieuwe materialen lenzen die beter door het oog worden verdragen. Er bestaan tegenwoordig al contactlenzen die dagen achtereen gedragen kunnen worden. De zuurstofdoorlaatbaarheid van het gebruikte materiaal is dan een belangrijke factor.

Dit artikel geeft een overzicht van de optica en biofysica van de contactlens. Ook wordt de werking van de vele verschillende onderhoudsmiddelen voor contactlenzen verklaard.



Het vermogen om te zien en de werking van het oog heeft vele mensen beziggehouden. De *cornea* of het *hoornvlies*, het doorzichtige deel van de harde en overigens witte *sclera*, de oogbol, was overduidelijk de plaats waar het licht 'naar binnen gaat'. Dat het een lens met een variabel brandpunt is, werd wellicht pas vier eeuwen geleden ontdekt.

In 1508 beschreef Leonardi da Vinci dat een glazen beker met water, tegen het oog gehouden, het brekend vermogen van de *cornea* opheft. Descartes vond in 1636 dat een glazen cilinder, met water gevuld, een nieuw brekend oppervlak veroorzaakt. In die tijd ontstond het concept, dat de *cornea* het belangrijkste brekende oppervlak van het optisch systeem van het oog is.

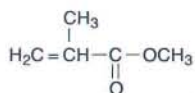
Slechtzienden redden zich lange tijd met brillen. De eerste glazen contactlenzen voor de behandeling van oogheelkundige afwijkingen

werden op aanwijzing van de oogarts Sae-misch in 1887 door Müller in Duitsland vervaardigd. De contactlens heeft dus net zijn honderdste verjaardag achter de rug. In 1938 maakten Müller en Obrig in de Verenigde Staten de eerste plastic contactlens van polymethylmethacrylaat (PMMA).

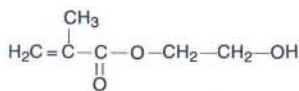
De eerste glazen en plastic contactlenzen hadden een grote doorsnede en een brede steunrand op het oogwit rondom het optische lensgedeelte dat over de *cornea* lag. Ze behooren tot de categorie van de *sclerale contactlenzen*, die ook heden ten dage nog af en toe hun toepassing vinden.

De contactlens volgens het huidige concept: kleine diameter en beweeglijk in de traanfilm over het hoornvlies, werd in 1948 door Kevin Tuomy ontworpen. Door de verbeterde beweeglijkheid wordt het traanvocht onder deze zogenaamde *corneale contactlens* van PMMA

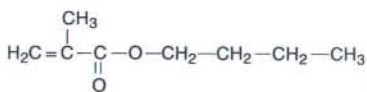
1



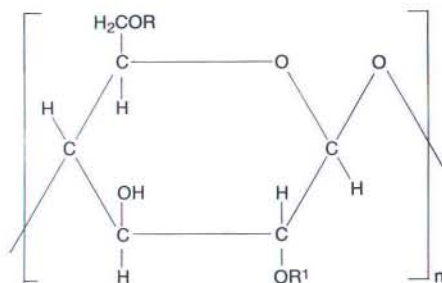
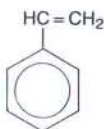
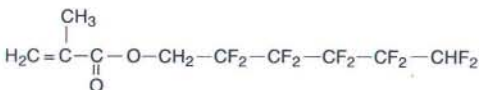
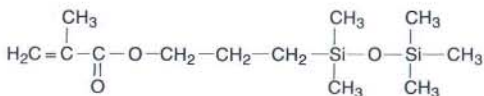
Methylmethacrylaat (MMA)



Hydroxyethylmethacrylaat (HEMA)



n-Butylmethacrylaat



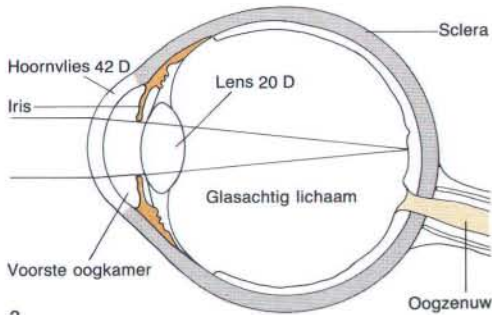
Cellulose-acetobutyrat

R = cellulose-acetaat of cellulosebutyrat

1. Methylmethacrylaat (MMA) is de bouwsteen voor polymethylmethacrylaat, ook wel bekend als plexiglas, het materiaal waar de oude generatie harde contactlenzen van werd vervaardigd.

De eerste zachte of hydrofiele lenzen hadden hydroxyethylmethacrylaat als bouwsteen voor de polymeer. De hydroxylgroep in de 'staart' van dit molecuul is bepalend voor het vermogen water vast te houden. Voor de moderne zuurstofdoorlatende harde contactlenzen gebruikt men polymeren die als bouwsteen wel steeds de methacrylaatgroep bezitten, maar waar staarten aangebouwd zijn die het materiaal de gewenste eigenschappen geeft. Een polyfluorcarbongroep verleent een hoge zuurstofdoorlaatbaarheid, maar maakt de lens erg zacht. Combinatie met het afgebeelde n-butylmethacrylaat en de siliciumoxydeverbinding levert een lens met goede eigenschappen.

Helemaal onder is styrol getekend, dat dikwijls als ultravioletfilter wordt ingebouwd.



2

2. Het menselijk oog bevat twee lenzen: het hoornvlies in combinatie met de voorste oogkamer en de ooglens. De eerste heeft een brekingssterkte van 42 D, de tweede van 20 D. De sterkte van de ooglens kan overigens gevarieerd worden om scherp te stellen op een onderwerp, we noemen dat de accommodatie van het oog. De iris is een diafragma en regelt de lichtinval in het oog.

met iedere ooglidslag ververst, waarbij het hoornvlies onder de contactlens nieuwe zuurstof krijgt aangeboden. Deze kleine, beweeglijke contactlenzen kunnen de hele dag gedragen worden, zonder bezwaren op te leveren voor de normale stofwisseling van de cornea onder de lens, zoals dat bij sclerale contactlenzen veelal het geval was na 4 tot 6 uur dragen.

Een nieuwe stap in de ontwikkeling van de contactlens werd in 1960 gezet door de ontdekking van de bruikbaarheid van hydrogelpolymeren door Wichterle en Lim (Tsechoslowakije). Zij gebruikten hydroxyethylmethacrylaat (HEMA), een polymeer dat water vasthoudt. Uitgaande van HEMA zijn daarna nog vele andere hydrofiele polymeren ontwikkeld. De *zachte contactlenzen* die men hiermee maakt hebben een watergehalte van 38 tot 80%.

Vanaf de jaren zeventig zijn, naast het PMMA, andere materialen ontwikkeld, waarvan *harde contactlenzen* gemaakt kunnen worden. De eis van zuurstofdoorlaatbaarheid, de eigenschap die de zachte contactlens populair maakte, is nu ook voor harde materialen gerealiseerd. Aanvankelijk had men slechts de beschikking over de cellulose-acetobutyraat (CAB) contactlenzen, die een betrekkelijk lage zuurstofdoorlaatbaarheid hebben. Die eigenschap is de laatste zes jaar verbeterd door de

synthese van methylmethacrylaatpolymeren waarin siloxanen zijn verwerkt. De laatste ontwikkeling is de toevoeging van fluor aan het silicoacrylaatpolymeer, waardoor een materiaal voor harde contactlenzen ontstaat waarvan de zuurstofdoorlaatbaarheid die van de duurste zachte contactlenzen overtreft.

Optica

Contactlenzen moeten brekingsafwijkingen van het optisch systeem van het oog corrigeren. Het belangrijkste brekende oppervlak van het oog, waardoor lichtstralen vanuit de buitenwereld op het netvlies worden afgebeeld, is het cornea-oppervlak. Dit bolvormige oppervlak heeft een dioptrische sterkte (P), die afhankelijk is van de straal van de bol en het verschil in brekingsindex tussen hoornvlies (n') en lucht (n):

$$P = \frac{n' - n}{r} = \frac{1,3375 - 1,0}{0,0078} = 43,27 \text{ Dioptrie (D)}$$

De achterzijde van de cornea is een veel zwakker brekend oppervlak omdat het verschil tussen de brekingsindices van het hoornvlies en vocht in de voorste oogkamer tussen cornea en ooglens klein is, respectievelijk 1,3375 en 1,3360. Het licht dat het oog binnenkomt valt daarna op de biconvexe (dubbelbolle) ooglens die in niet-geaccomodeerde toestand gemiddeld 19 D brekingssterkte bijdraagt aan het totale brekende vermogen van het oog.

Een ver verwijderd voorwerp wordt in het normaal brekende of *emmetrope* oog scherp afgebeeld op het netvlies.

Bij brekings- of *refractieafwijkingen* zoals *bijziendheid*, *verziendheid* en *astigmatisme* worden evenwijdig invallende lichtstralen niet op één punt van het netvlies afgebeeld. In de eerste twee gevallen is de afbeelding scherp

TABEL 1 Brekingsindices

Lucht	1,00
Traanvocht	1,357
Cornea	1,3375
Kamerwater	1,336
Ooglens	1,42

vóór, respectievelijk achter het vlak van het netvlies. Op het netvlies valt een wazig beeld. Bij astigmatisme breekt het oog de lichtstralen in één vlak sterker dan die in een vlak loodrecht daarop. Meestal wordt astigmatisme veroorzaakt door een afwijkende vorm van het hoornvlies. In plaats van een bolvorm heeft het hoornvliessoepervlak de vorm van een rugbybal, in één richting sterker gekromd dan in de loodrecht daarop staande richting. We spreken hier ook wel van een cilindrische afwijking.

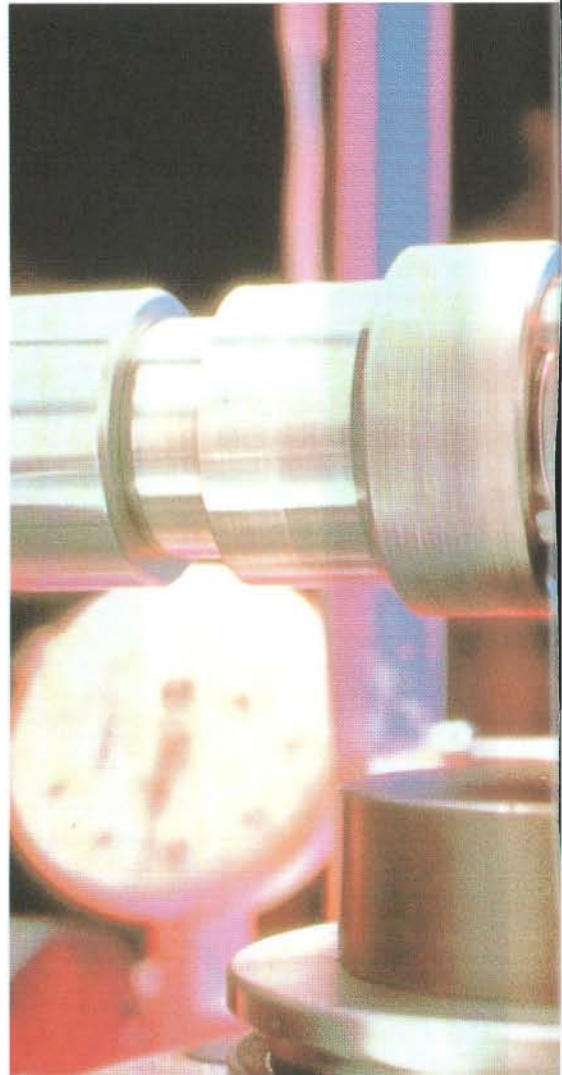
Refractieafwijkingen kunnen met een brillenglas worden gecorrigeerd: een negatieve lens voor een bijziend oog en een positieve lens voor een verziend oog. Een astigmatische cornea kan met een cilindrisch brillenglas worden gecorrigeerd. Met een contactlens, in contact met en bedekt door de traanfilm zijn deze correcties ook mogelijk, de kromming van het voorvlak van het hoornvlies kan ermee worden veranderd. Bij bijziendheid kan een contactlens het voorste brekende oppervlak van het optisch systeem van het oog vlakker maken en daardoor de evenwijdige lichtstralen scherp op het netvlies afbeelden (afb. 12). In geval van astigmatisme kan een harde contactlens, die zo stijf is dat de lens sferisch blijft op een niet sferische cornea, de cilindrische afwijking corrigeren. De contactlens rust dan veelal op de vlakste meridiaan. In de steile meridiaan blijft een ruimte tussen contactlens en cornea, welke door traanvocht wordt opgevuld. Aldus is het buitenste brekende oppervlak sferisch geworden. Zachte contactlenzen zijn in het algemeen ongeschikt voor het corrigeren van een cilindrische afwijking, omdat ze met de bestaande vormafwijking meebuigen.

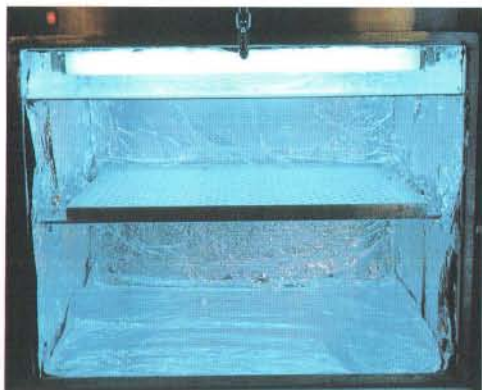
Fysiologie van de cornea

De cornea bestaat uit enkele weefsellagen. De buitenste ervan, het epitheel met een dikte van 50 μm fungeert vooral als hermetische barrière tegen het binnendringen van micro-organismen en grotere molekulen. Het grootste deel van de cornea bestaat uit het *stroma*, opgebouwd uit collageenlamellen die ingebed liggen in een sterk gehydrateerde eiwitmatrix. De binnenzijde van de cornea is bekleed met endotheel van één cellaag dik. Dit endotheel heeft een belangrijke pompfunctie; de hydratietoestand van de gehele cornea, die voor



3





4



6

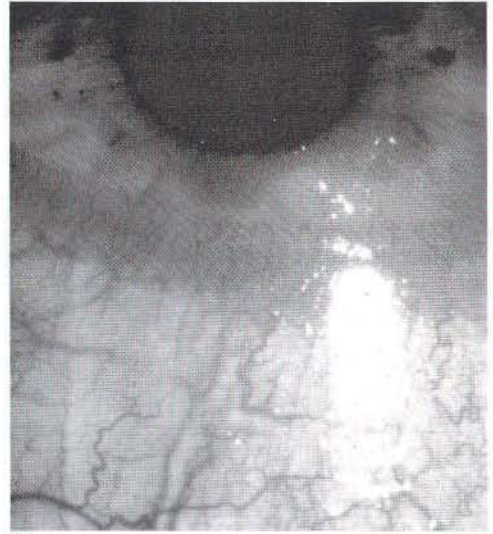
5



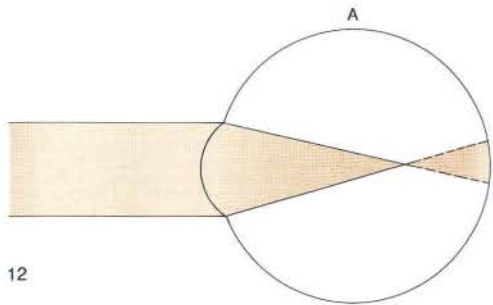
7

3, 4, 5, 6 en 7. Harde lenzen maakt men van brokjes polymeren die door draaien en polijsten tot een lens van de juiste sterkte worden gemaakt. De chemische bereiding van de polymeren (3) gebeurt batchgewijs. Na vullen van de vormpjes wordt de polymerisatiereactie voltooid door uitharden onder ultraviolet licht (4). Heel precies wordt het proces bij het draaien van de lens tot zijn ruwe vorm (5), daarna volgt het polijsten (6), afgewisseld door de benodigde controles (7).

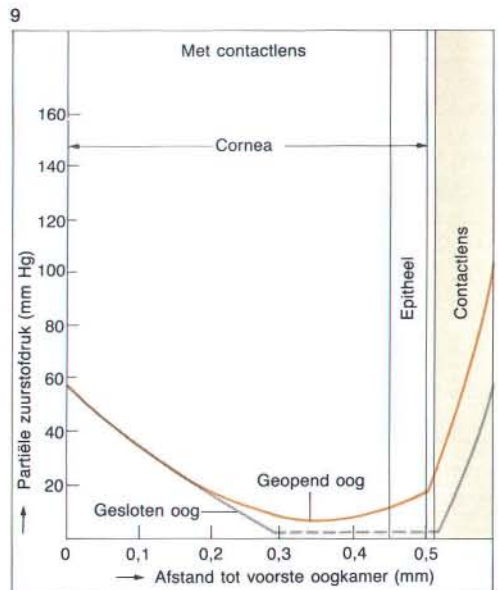
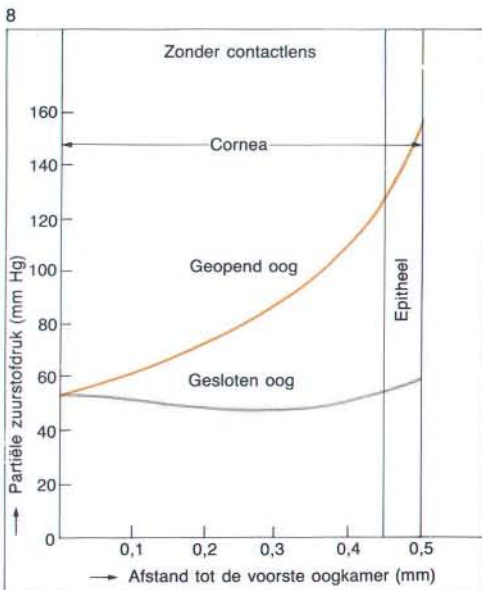
78% uit water bestaat, wordt gereguleerd door de actieve pompfunctie van endotheel in samenhang met de binnen het oog heersende druk van normaal ongeveer 15 mm kwikdruk ($= 2 \cdot 10^3$ Pa). De totale dikte van de cornea is $500 \mu\text{m}$ (0,5 mm). Als de regelmatig geordende collageenbundels van het stroma door weefselzwelling uit elkaar drijven wordt het hoornvlies troebel. In het epitheel worden cellen vervangen, in het endotheel vereist de pompfunctie de nodige energie die komt uit de verbranding van glucose. Deze glucose wordt uit het kamerwater aangevoerd. De glucoseverbranding verloopt of aëroob, met als eindprodukten H_2O en CO_2 , of anaëroob, waarbij melkzuur ontstaat. Onder fysiologische omstandigheden wordt in de cornea 15% van de glucose aëroob en 85% anaëroob afgebroken. Een relatief zuurstoftekort veroorzaakt een verschuiving van de aërobe naar de anaërobe verbranding om aan de energiebehoefte te voldoen. Onder deze omstandigheden hoopt zich melkzuur op, dat niet alleen de pH van het weefsel verandert, maar bovendien slechts langzaam verdwijnt. Een overmaat aan melkzuur kan de osmotische waarde van het weefsel sterk veranderen en water aantrekken. Omdat bovendien de pH lager wordt, kan de pomp in het endotheel de toestand niet snel genoeg corrigeren waardoor de cornea uiteindelijk zwelt en



10



12



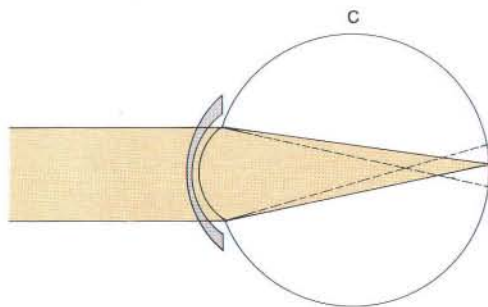
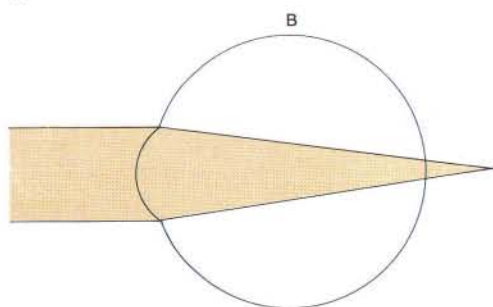


11

8 en 9. Het verloop van de partiële zuurstofdruk in de cornea zonder (8) en met contactlens (9); met open (gekleurde lijn) en gesloten oog (grijze lijn).

10 en 11. Zuurstofgebrek in de cornea bij een vastgezo-gen contactlens geeft een rood, bloeddorlopen oog met een troebele cornea (10). Een sterke allergische reactie op gedeneureerde lichaamseiwitten op de lens kan leiden tot folliculaire conjunctivitis (11), blaasjes-vorming op de binnenzijde van het ooglid. Goed onder-houd van de lenzen kan de-zee problemen voorkomen.

12. De stralengang in een bijziend oog (A), een ver-ziend oog (B) en een bijziend oog met een corrigerende contactlens (C).



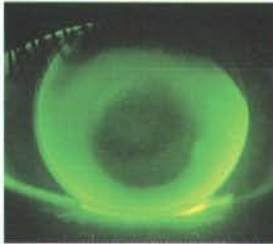
vertroebelt. Dit proces kan zich in één tot enkele uren voltrekken, afhankelijk van de ernst van het zuurstoftekort.

Zuurstof voor de stofwisseling van de cornea komt normaal via de traanfilm uit de buitenlucht (open oog) of uit het capillaire bloedvatnetwerk van het bovenste ooglid (bij gesloten oog). De partiële zuurstofspanning (pO_2) van de buitenlucht bedraagt op zeeniveau 21% van de atmosferische druk, ongeveer $2 \cdot 10^4$ Pa. In het kamerwater is de partiële zuurstofspanning $0,73 \cdot 10^4$ Pa, overeenkomend met de pO_2 van het arteriële bloed. Wanneer het ooglid over het hoornvlies gesloten is, heerst er aan de buitenzijde van de cornea een pO_2 van eveneens $0,65 \cdot 10^4$ Pa, gelijk aan die in het arteriële bloed in het bovenste ooglid. De beschikbaarheid van zuurstof in de cornea is schematisch weer-gegeven in afbeeldingen 8 en 9.

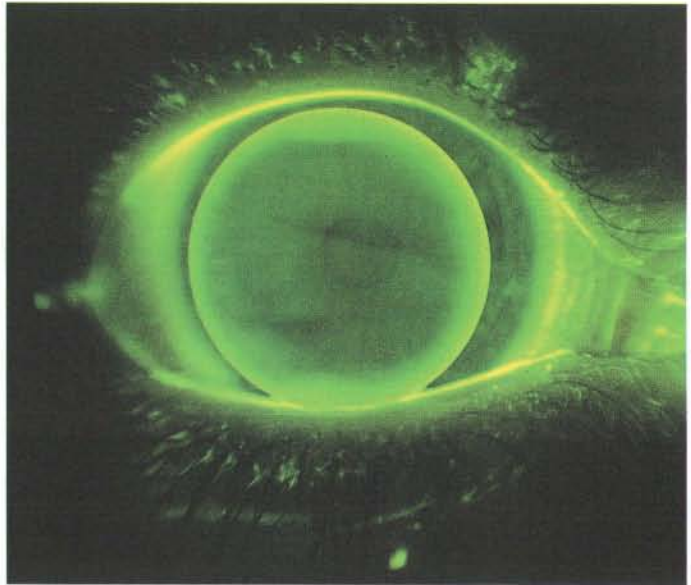
Wanneer een contactlens met een lage

zuurstofdoorlaatbaarheid op het oog gedragen wordt, dan daalt de pO_2 tot een onaantvaardbare lage waarde als het ooglid wordt gesloten. Zo'n contactlens is ongeschikt om ook 's nachts op het oog te dragen. De minimale pO_2 in de cornea onder een contactlens, waarbij geen corneazwelling optreedt heet de oedeem-grens. Deze grens is door de auteurs Polse en Mandell aanvankelijk gesteld op een pO_2 van $1,3 \cdot 10^3$ tot $2,7 \cdot 10^3$ Pa, maar is recent herzien en wordt nu op $4 \cdot 10^3$ tot zelfs $6,5 \cdot 10^3$ Pa gesteld, afhankelijk van de gehanteerde criteria van afwijkingen van de normale corneafysiologie onder contactlenzen. Uit het bovenstaande blijkt dat de zuurstofdoorlaatbaarheid van een contactlensmateriaal belangrijk kan bijdragen tot een goed functioneren op het oog. Volgens de wet van Fick wordt de flux van, in dit geval zuurstof, door een materiaal bepaald door de oplosbaarheid (constante k)

13 en 14. Met een fluorescerende kleurstof kan de goede pasvorm van een lens op de cornea worden gecontroleerd. De kleurstof gedraagt zich als traanvocht. Een intens groene kleur duidt op een dikkere traanlaag, op zwarte gedeelten zit weinig vocht. De lens op afb. 13 past niet goed op het oog, gezien de donkere vlek in het midden. Een goed passende lens geeft naar de rand van de lens een steeds intensere kleur te zien.



13



14

de diffusiesnelheid (constante D) en de dikte van het materiaal. In de contactologie is het gebruikelijk om de permeabiliteit van een materiaal voor zuurstof uit te drukken als de Dk -waarde, terwijl met het quotiënt Dk/l de transmissie van zuurstof door een individuele contactlens van een bepaald materiaal en een bepaalde dikte wordt uitgedrukt (per cm^2 en per seconde). Dk -waarden voor verschillende contactlensmaterialen lopen sterk uiteen (tabel 1). De nieuwe materialen met Dk -waarden boven de 50 zijn bruikbaar als *extended-wearlens*: ook onder het gesloten ooglid krijgt de cornea voldoende zuurstof om storend oedeem van het weefsel te voorkomen. Zo zal tijdens de slaap de cornea niet méér dan 4% in dikte toenemen en dat gebeurt ook zonder contactlens al.

De contactlens beweegt op het oog omdat zij in de traanfilm drijft. Door verversing van traanvocht achter de lens kan een aanzienlijke hoeveelheid zuurstof aan de cornea worden aangeboden. Dit mechanisme maakt het mogelijk om harde contactlenzen te dragen, welke geen of nagenoeg geen zuurstof doorlaten, zoals de PMMA-lenzen. Hierbij is dus traancirculatie en een goede mobiliteit van de contactlens van groot belang. Zuigt een PMMA-contactlens zich onbeweeglijk vast, dan treedt er

snel zuurstofgebrek op: melkzuur hoopt zich op, de cornea zwelt en wordt troebel. Zachte contactlenzen hebben een veel hogere zuurstofdoorlaatbaarheid, daardoor is de beweeglijkheid op het oog niet zo belangrijk als bij PMMA-contactlenzen. Ook zachte lenzen kunnen zich echter onbeweeglijk op het oog vastzuigen en dan een pijnlijk, rood, troebel oog veroorzaken. We spreken dan van een acuut *overwear syndroom*. De nieuwe hoogzuurstofdoorlatende harde contactlenzen hebben verschillende gunstige eigenschappen in zich verenigd: het materiaal laat voldoende zuurstof door om ook onder een gesloten ooglid aanvaardbaar te zijn en de contactlens beweegt met de oog- en knipperbewegingen waardoor het traanvocht eronder wordt ververst. Tevens is het materiaal veiliger ten opzichte van microbiële infectie: het oppervlak is beter schoon te houden dan dat van de zachte hydrofiele contactlenzen.

Verzorging van contactlenzen

De verzorging van contactlenzen bestaat uit schoonmaken, oppervlaktebehandeling en het aanbrengen van een bevochtigingsmiddel bij het inzetten van de contactlenzen. De behandeling verschilt met het materiaal waarvan de

lens is gemaakt. Hier maken we onderscheid tussen de harde lenzen van PMMA, de zuurstofdoorlatende harde lenzen en de hydrofiele zachte contactlenzen.

Verzorging van harde PMMA lenzen.

Het aloude plexiglas heeft door zijn materiaal-eigenschappen de eenvoudigste verzorging nodig. Ten eerste is het watergehalte van PMMA praktisch nul en ten tweede ontbreken polaire hydroxylgroepen. PMMA heeft daardoor een zeer geringe neiging om een aanslag van proteïnen, lipiden en anorganische bestanddelen uit het traanvocht op te nemen. Ook is adhesie en opname van conserveermiddelen uit contactlensverzorgingsvloeistoffen uitgesloten. Voor het schoonmaken van ieder contactlensoppervlak gebruikt men detergentia. Ze bestaan uit kleine langwerpige molekulen en verlagen de oppervlaktespanning van water. De molekulen van een detergenten oriënteren zich

aan de waterige oplossing en aan onzuiverheden zoals vetstoffen. Het lipofiele deel van het detergenten bindt de verontreiniging, terwijl de hydrofiele kant zorgt dat het complex in oplossing blijft. Dank zij de lage oppervlaktespanning van de reinigingsvloeistof zal het vocht in de massa van het vuil penetreren. Door wrijven komt het vuil in suspensie en kan met water worden weggespoeld.

Bevochtiging

De bevochtigings- of inzetvloeistof wordt kort voor het inzetten in het oog op de lens gedruppeld. Het bevat oppervlaktespanningverlagende stoffen, een pH-buffersysteem en antimicrobiële stoffen. Het *bevochtigingsvermogen* van een vloeistof voor een vaste stof wordt bepaald door de mate waarop een druppel zich op een oppervlak 'schikt'. Contactlensvloeistoffen bevatten polyvinylalcohol (PVA) of methylcellulose, die een betere bevochtiging

15



16



TABEL 2 Zuurstofdoorlaatbaarheid (D_k -waarde)

Materiaal	H ₂ O(%)	$D_k(\times 10^{-11})$
Zachte lenzen		
HEMA	38	8,5
HEMA + YP	55-85	16-48
Harde lenzen		
PMMA	0,4	0,1
CAB	2	4,5
Silico-acrylaat	1	26
Fluorsilico-acrylaat	1	70-100

15 en 16. Niet goed gereinigde lenzen vertonen een aanslag van eiwitten of zouten. Op deze afbeeldingen is een eiwitaanslag te zien.

TABEL 3 Overzicht van drie verzorgingssystemen bij hydrofiele (zachte) lenzen

	Thermische desinfectie	Chemische desinfectie	Oxydatieve desinfectie
Eenvoudig	Nee	Ja	Ja
Verwisseling van vloeistoffen mogelijk	Nee	Nee	Ja
Denatureert eiwit	Ja	Nee	Nee
Gunstig voor levensduur lens	Nee	Ja	Ja
Voor elk type lens	Nee	Nee	Ja
Allergische reactie mogelijk	Nee	Ja	Nee
Toxische reactie mogelijk	Nee	Ja	Nee

van het contactlensoppervlak bewerkstelligen. Een fosfaat- of boraatbuffersysteem houdt de zuurgraad van de vloeistof op een voor het oog aanvaardbare waarde; het traanvocht heeft een pH tussen 6,8 en 7,4.

Antimicrobiële stoffen (conserveermiddelen) zijn bedoeld om de inzetvloeistof, na het openen van de verpakking, kiemvrij te houden en om besmetting bij het inzetten te bestrijden. De meest gebruikte conserveermiddelen zijn: benzalkoniumchloride (in concentraties van 0,001 tot 0,1%); chloorbutanol (in concentraties van 0,15 tot 0,5%); thiomersal, een organische kwikverbinding met een breed spectrum (in concentraties van 0,001 tot 0,01%) en chloorhexidinedigluconaat. De laatste stof heeft ook een breed spectrum en is werkzaam tegen virussen in concentraties van 0,001 tot 0,005%.

Vaak worden combinaties van de conserveermiddelen gebruikt voor een optimale werking.

Zuurstofdoorlatende contactlenzen

Met de komst van de zuurstofdoorlatende contactlenzen (± 1976) werden nieuwe eisen gesteld aan de vloeistoffen. CAB, cellulose-aceto-butyraat heeft een nog geringe zuurstofdoorlaatbaarheid en kan tot 2% water opnemen. Het meest opvallende verschil met PMMA is de aanwezigheid van vrije OH-groepen. CAB is hierdoor aanzienlijk sterker polair dan PMMA, en is in staat om met ver-

schillende substanties te reageren, met als gevolg een grotere affiniteit ten opzichte van onder andere lipiden uit het traanvocht. De modernere silico-acrylaat lenzen zijn weliswaar veel beter zuurstofdoorlatend, maar het materiaal bindt ook makkelijker stoffen uit het traanvocht en uit de lensvloeistoffen. In het kort kunnen we stellen dat vloeistoffen die naar tevredenheid werken bij PMMA niet altijd geschikt zijn voor de zuurstofdoorlatende contactlenzen. Aan de schoonmaakmiddelen voor deze lenzen zijn microscopisch kleine polymeerbolletjes toegevoegd, die een polijstende werking hebben op de neerslagen op het contactlensoppervlak, zonder dat hierdoor krassen kunnen ontstaan.

Bewaar- en inzetvloeistoffen voor gaspermeabele contactlenzen zijn vooral bedoeld om de bevochtiging van het contactlensoppervlak te verbeteren, waardoor ze beter door het traanvocht worden geaccepteerd.

Als conserveermiddel in de bewaar- en inzetvloeistof heeft chloorhexidinedigluconaat de voorkeur. Deze stof bindt minder sterk aan de siliconencomponent van de lens dan bijvoorbeeld benzalkoniumchloride. Chloorhexidinedigluconaat verkleint ook de contacthoek, waardoor het contactlensoppervlak beter bevochtigd blijft.

Verzorging van hydrofiele zachte lenzen

De meeste hydrofiele contactlenzen zijn copolymeren waarin naast HEMA (hydroxyl-ethyl-



17

methacrylaat) nog een ander polymeer verwerkt is. In tegenstelling tot PMMA zijn er vrije hydroxylgroepen aanwezig, zodat het materiaal sterk polair is. Deze kunststoffen hebben de eigenschap om water op te nemen, van 38 tot 80% van het gewicht. Deze lenzen eisen veel verzorging omdat ze niet mogen uitdrogen en omdat eiwitten en vetten uit het traanvocht makkelijk aan het oppervlak binden. Op hun beurt binden die weer conserveermiddelen uit de verzorgingsvloeistof. Er wordt wel beweerd dat micro-organismen in de zachte lenzen kunnen binnendringen, maar dat is niet zo.

Zachte lenzen kunnen thermisch, chemisch en oxydatief gedesinfecteerd worden. Bij de thermische desinfectie worden de lenzen eerst mechanisch gereinigd met oppervlakte-actieve stoffen. Daarna worden ze gedurende 30 minuten in 0,9% NaCl verhit tot $\pm 80^\circ\text{C}$, in een speciaal hiervoor ontwikkeld verwarmingsapparaat. Hierdoor worden niet alle micro-organismen gedood, maar wel die, die voor het oog gevaarlijk zijn. Ook de meeste virussen zijn temperatuurgevoelig. Na afkoelen kunnen de lenzen zonder verdere behandeling worden ingezet.

Bij de chemische methode worden de lenzen, na mechanisch te zijn schoongemaakt met een oppervlaktereiniger, in een desinfecterende vloeistof gelegd. Een goed samengestelde vloeistof breekt alle micro-organismen binnen vier uur af. Als antimicrobiële middelen

17. Veel toeschouwers en beginnende lensgebruikers vinden het inzetten van de lens een enge bezigheid. Snel treedt echter gewenning op en staat het in direct contact brengen van lens en cornea-oppervlak gelijk aan het opzetten van een bril.

worden meestal chloorhexidinedigluconaat en thiomersal gebruikt, het laatste is ook actief tegen schimmels.

De oxydatieve desinfectie is momenteel voor de hooghydrofiele zachte lenzen het meest toegepaste systeem. Door de grotere breukkans van deze lenzen is het mechanisch reinigen met oppervlakte-actieve stoffen namelijk af te raden. Voor zowel reinigen als desinfecteren wordt daarom gebruik gemaakt van één werkzame stof namelijk een oplossing van 3% waterstofperoxide (H_2O_2). Deze verbinding is na ontleding onschuldig voor het oog. De desinfecterende werking van H_2O_2 berust op de zeer reactieve werking van het vrijkomende atomaire zuurstof bij de reactie $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}\uparrow$. Het resterende H_2O_2 moet na gebruik genutraliseerd worden.

De verzorging van de hydrofiele zachte lenzen is compleet, wanneer eenmaal per week proteïne-oplossende tabletten worden gebruikt. Hierin zijn meestal proteïnesplitsende enzymen als papaïne en trypsine verwerkt die aan het oppervlak van de lens gehechte gedetureerde proteïnen afbreken.

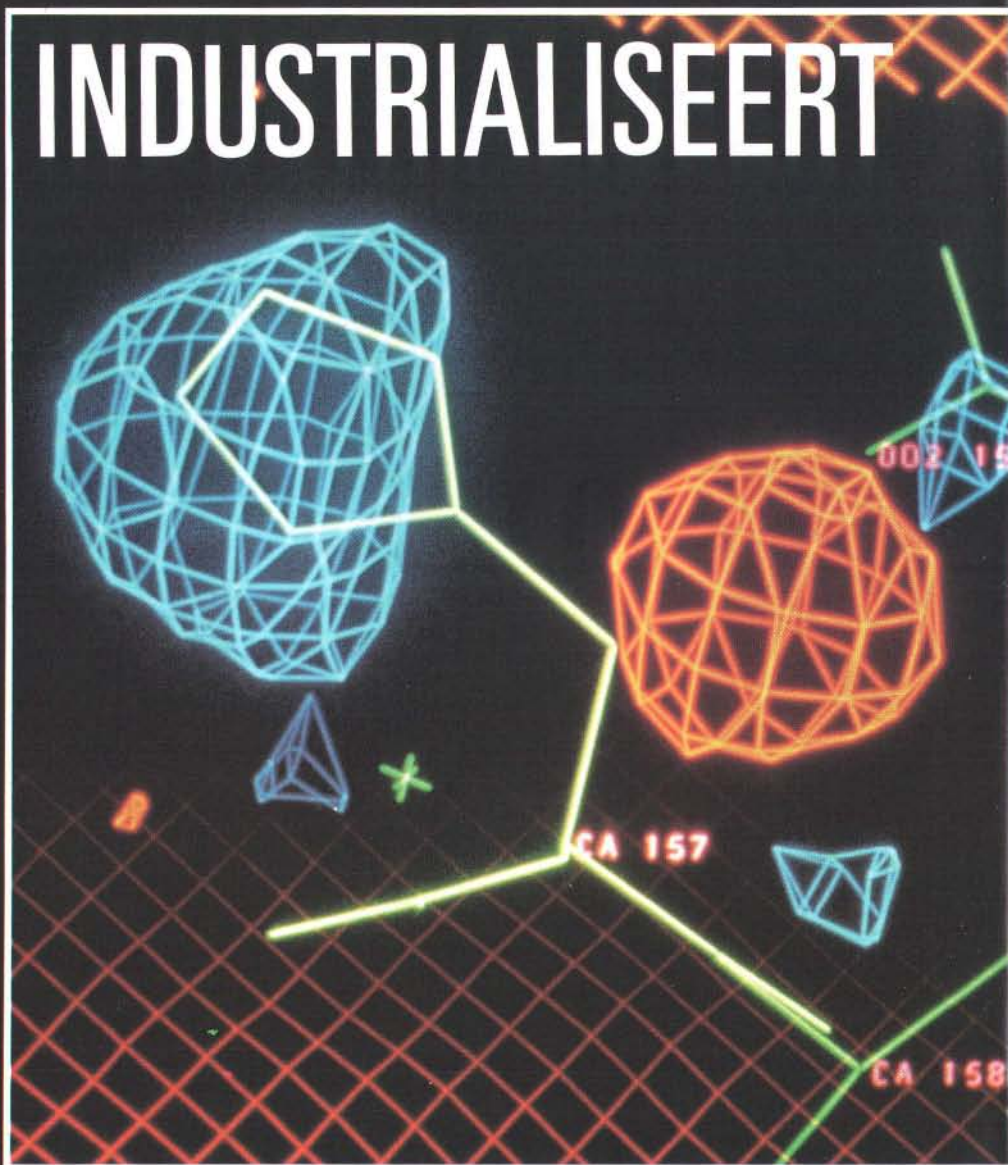
Literatuur

- Kontaktlensvloeistoffen vaak gebrekkig. Consumentengids 1980: oktober; pag. 464-469
 Kontaktlinsen Tabellen. Neue Optiker Journal 1986: januari; pag. 72-74
 Fatt I. Physiology of the Eye. Boston/London: Butterworths, 1978

Bronvermelding illustraties

- Wim Köhler, Cadier en Keer: pag. 86-87
 Bausch & Lomb, Heemstede: no 5, 14, 17
 Friederichs BV, Heemstede: no 3, 4, 6, 7, 10, 11, 13
 De overige illustraties zijn afkomstig van de auteurs.

DE BIOLOGIE INDUSTRIALISEERT



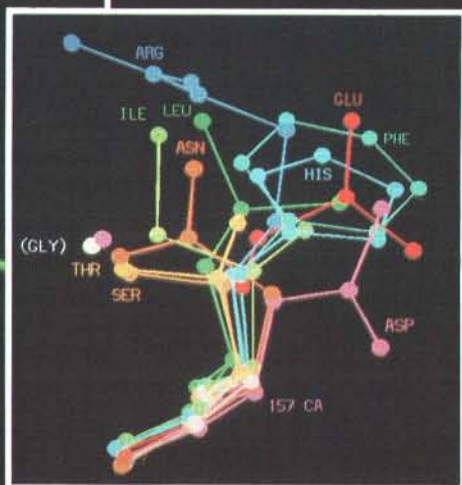
Wetenschappelijke resultaten die een revolutie in de industrie ontketenen zijn zeldzaam. De synthese van ureum was zo'n uitzondering. In 1828 lukte het de Duitse chemicus Wöhler om deze organische verbinding te synthetiseren uit anorganische molekulen, waarmee hij de basis legde voor een industrie die gebaseerd is op de synthetische chemie. Bijna 160 jaar later, in 1976, gaf de biochemicus Har Gobind Khorana het startschot voor de synthetische biologie, toen hij erin slaagde om een kunstmatig gen in een levende cel tot expressie te brengen. Er zijn critici die menen dat de wetenschappelijke betekenis van DNA-recombinatie wordt overschat, aangezien tot nu toe slechts enkele via genetische manipulatie geproduceerde stoffen een commercieel succes zijn geworden.

Mijn centrale stelling luidt daarentegen dat de synthetische biologie een even explosieve ontwikkeling zal doormaken als we de laatste 125 jaar in de chemie waarnemen.

E. Winnacker

*Universiteit van München
Bondrepubliek Duitsland*

EURO
ARTIKEL



Onderzoek aan de universiteit van Oregon (VS) openbaarde onlangs hoe de stabiliteit van het eiwit lysozyme uit de bacteriophage T4 berust op het in stand houden van een specifiek patroon van waterstofbindingen. De onderzoekers vervingen amino-zuur 157 (threonine) steeds door één ander amino-zuur, waarbij er dertien verschillende werden uitgetoetst (inset). De mutant waarbij threonine op positie 157 vervangen is door

histidine kan geen waterstofbrug met amino-zuur 159 vormen en is daardoor veel minder stabiel. De openingsfoto toont het verschil in elektronendichtheid tussen het oorspronkelijke eiwit (157 threonine), en deze variant. De grote blauwe structuur linksboven is de toegevoegde imidazolring van histidine, de oranje structuur rechts daarvan correspondeert met de verdwenen hydroxylgroep van threonine.

Tot het begin van de negentiende eeuw was ureum een stof die uitsluitend uit levende zoogdiercellen bekend was. Met de vorming van ureum uit ammoniumcyanaat leverde Wöhler het bewijs dat organische stoffen die in de natuur voorkomen, ook in het laboratorium uit eenvoudige bouwstenen kunnen worden samengesteld. De synthese van deze organische verbinding zou inderdaad geen unicum blijven; na een stormachtige ontwikkeling halverwege de vorige eeuw, werd in 1882 het eerste hoogtepunt bereikt met de produktie van synthetisch indigo, een blauwe kleurstof die men voorheen uit de indigoplant won.

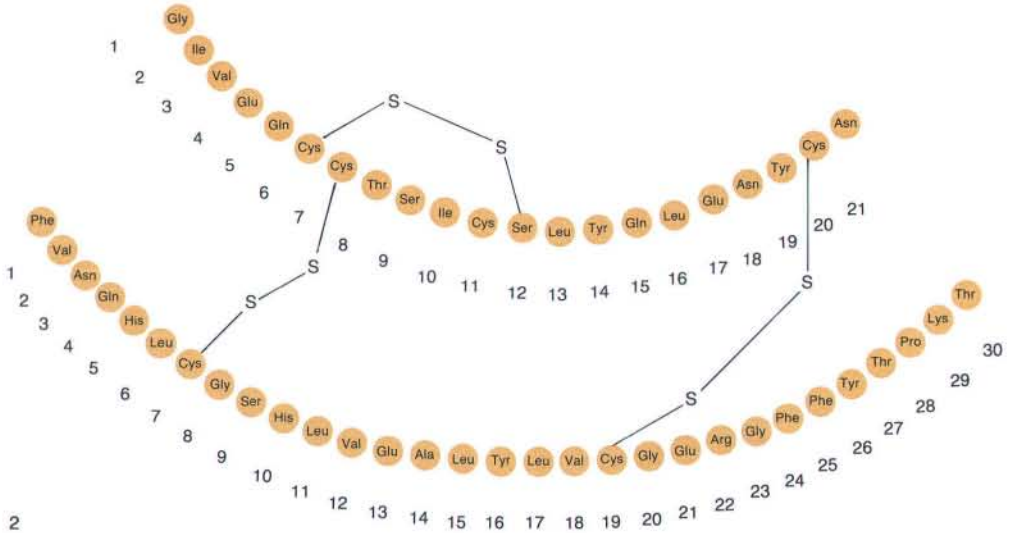
Wöhler en zijn collega Liebig, die beiden de invloed van minerale meststoffen op plantegroei onderzochten, voorzagen de mogelijke consequenties van deze experimenten. In het slotcommentaar van een gemeenschappelijke publikatie schreven zij: "De filosofie van de chemie zal uit dit onderzoek de conclusie trekken, dat de produktie van alle organische stoffen, voor zover zij geen deel meer uitmaken van het organisme, in onze laboratoria niet alleen waarschijnlijk, maar zeker moet worden geacht. Suiker, salicylverbindingen en morfine zullen kunstmatig geproduceerd worden. Wij kennen weliswaar de manier nog niet, waarop dit resultaat bereikt zal worden, maar wij

zullen deze zeker leren kennen." Wöhler en Liebig zouden gelijk krijgen.

De kennis van de chemie groeide gestaag. Aan het begin van de twintigste eeuw was men al in staat om talrijke natuurlijke verbindingen in de reageerbuis te synthetiseren. Binnen korte tijd vond deze kennis ook toepassing op tal van andere terreinen, variërend van de landbouw en de geneeskunde tot de kledingbranche. Dertig tot veertig jaar na dit fundamentele werk kregen de eerste chemische industriële ondernemingen, die nu één van de peilers van de Westerse economie vormen, voet aan de grond. Een voorbeeld van een laboratoriumexperiment dat werd uitgebouwd tot een groot-schalige produktiemethode, is de bereiding van ammoniak uit stikstof en waterstof. Fritz Haber en Carl Bosch kregen hiervoor respectievelijk in 1918 en in 1931 de Nobelprijs toegekend. De landbouw die tot dan toe organisch afval als meststof gebruikte of soms op dure chilisalpeter was aangewezen, had nu een vrijwel onuitputtelijke bron van minerale mest ter beschikking. Vergelijken we de chemie zoals die zich in de afgelopen eeuw ontwikkelde tot de chemische industrie met de biologie, die momenteel onderdeel wordt van een biotechnologische bedrijfstak, dan zien we duidelijke overeenkomsten.

1

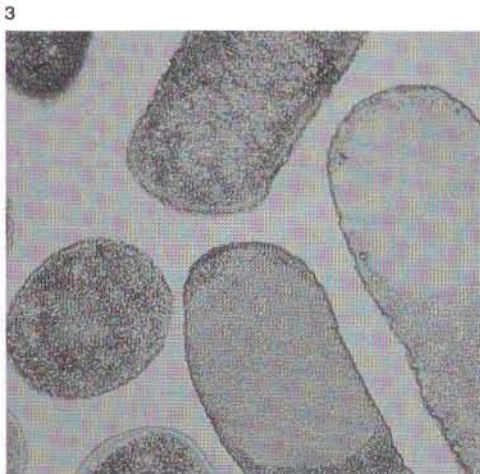




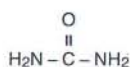
1. Kunstmeststrooier. De synthese van ammoniak, die BASF in 1913 voor het eerst op industriële schaal ter hand nam, maakte de weg vrij voor de produktie van kunstmest (ammoniumsulfaat) en munitie (uit salpeterzuur). De voorheen gebruikte grondstoffen, nitraten, waren vrijwel uitsluitend uit Chili afkomstig. Onder invloed van de oorlogsdreiging kwam de stikstofbinding via ammoniak snel tot ontwikkeling, om zodoende de voedsel- en munitievoorziening veilig te stellen.

2 en 3. Insuline is onmisbaar bij de behandeling van suikerziekte (Diabetes mellitus). Dit 51 aminozuren tellende

hormoon is opgebouwd uit twee ketens, die met elkaar zijn verbonden door twee zwavelbruggen (2). Tot voor kort kon men menselijk insuline alleen vervaardigen door een modificatie van insuline uit runderen en varkens. Sinds 1983 is er menselijk insuline op de markt dat door genetisch gemanipuleerde bacteriën geproduceerd wordt. Het benodigde gen kon op basis van de aminozuurvolgorde worden gereconstrueerd en in een stam van de bacterie *Escherichia coli* worden gebracht die het daarna tot barstens toe produceert. De ophoping van insulinekaten in deze bacterie is onder de elektronenmicroscoop als een lichte vlek zichtbaar (3).



Ureum



Interferon

Reeds in 1957 ontdekten Isaacs en Lindenmann dat door virussen geïnfecteerde cellen een stof produceren die andere cellen, die niet geïnfecteerd zijn, tegen allerlei virusaanvallen beschermt. Deze verbinding, die in hoeveelheden van miljoenste grammen in het lichaam wordt geproduceerd, noemden zij *interferon*. Het wetenschappelijk onderzoek naar interferon kwam de daaropvolgende twintig jaar slechts traag op gang. De toenmalig beschikbare zuiveringsmethoden waren eenvoudigweg niet fijn genoeg om interferon in voldoende hoeveelheid te verkrijgen. Ook toen de Finse molekulair-bioloog Cantell een reinigingstechniek ontwikkelde, had men nog miljoenen liters menselijk bloed nodig om enkele duizendste grammen interferon te isoleren. De prijs per gram interferon lag toen in de orde van enige miljoenen dollars, een situatie die vergelijkbaar is met de hoge prijs die men

4. Bakelieten radio met luidspreker uit 1927. Bakeliet, genoemd naar Leo Henricus Arthur Baekeland, was de eerste volledig synthetische kunststof (1909).

Kunststoffen zijn lange ketens of netwerken, opgebouwd uit kleine chemische bouwstenen (monomeren). Het scala kunststoffen is enorm. Een belangrijke eigenschap is hun bestendigheid op de lange duur.

5. Interferonkristallen. Lange tijd waren de beschikbare hoeveelheden interferon te gering voor uitgebreide proeven. Zelfs toen de Zwitser Weismann in 1980 menselijk interferon via DNA-recombinatie wist te maken, was de samenstelling van dit antivirale eiwit nog onbekend. Ook nu nog resten er vragen, bijvoorbeeld over de rol van interferon als geneesmiddel tegen kanker.



4

moest betalen voor natuurlijke kleurstoffen als kardinaalrood en indigo in de tijd dat deze nog niet kunstmatig geproduceerd konden worden. Pas toen de DNA-recombinatie zijn intrede deed, kwam er een ommekeer: nu produceren bacteriën, waarin men de genetische informatie voor de aanmaak van interferon heeft gebouwd, deze verbinding in onbeperkte hoeveelheden en voor een relatief lage prijs, waardoor men niet meer afhankelijk is van natuurlijke voorraden.

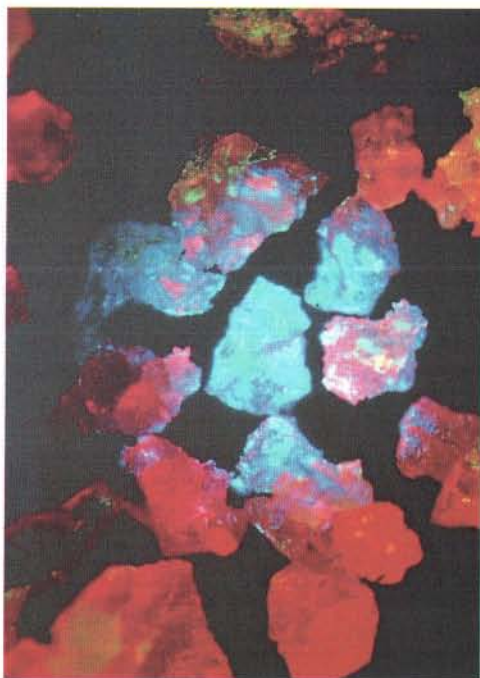
Het eerste biomolekuul dat door toepassing van DNA-recombinatie op grote schaal gesynthetiseerd werd, was menselijk insuline. Dit gebeurde voor het eerst in 1983. Het Amerikaanse bedrijf Eli Lilly en het Duitse Hoechst AG fabriceren nu door toepassing van deze techniek vele kilo's insuline in fermentatietanks van zo'n 100000 liter.

Kunst

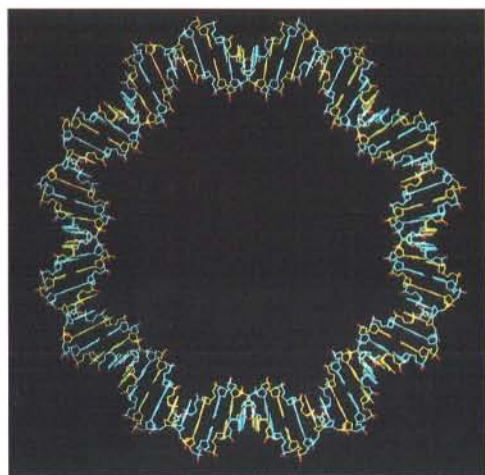
Een tweede overeenkomst tussen de ontwikkelingsgang van de chemie en die van de biologie is de creatie en later de grootschalige productie van verbindingen die *niet* in de natuur voorko-

men. Jarenlang beperkten chemici zich tot het nabootsen van natuurlijke stoffen en processen. Zij bouwden na wat de natuur hen had voorgedaan, maar al spoedig probeerden zij ook stoffen te vervaardigen, waarvan in de natuur geen voorbeelden bestonden. Het repertoire van chemische reacties dat onderzoekers hadden leren beheersen bij de synthese van natuurlijke stoffen, was inmiddels zo uitgebreid, dat zij erin slaagden om natuurlijke verbindingen om te bouwen tot geheel nieuwe stoffen. Het lukte de wetenschappers om bestaande ringvormige structuren te breken, molekuul-aanhangsels te verwisselen en ketenvormige verbindingen aaneen te rijgen. Deze basiskennis, in combinatie met een dosis creativiteit, leidde in de jaren dertig onder meer tot de vorming van kunststoffen, materialen waarvan de eigenschappen naar wens kunnen worden aangepast.

Evenals de chemici in het verleden, moesten molekulair-biologen zich tot voor kort beperken tot het namaken van natuurlijke stoffen. De huidige biochemische bedrijven die natuurlijke verbindingen zoals groeihormonen of interferon produceren zijn qua ontwikkelings-



5



6

6. Wiskundig model van circulair DNA. Elk van de twee hoofdketens van deze 'wenteltrap' bestaat afwisselend uit een fosfaatgroep en een suikermolekuul (de ringvormige structuren), waaraan een base gekoppeld is. Elke 'trede' van de trap wordt gevormd door twee complementaire basen, die door waterstofbruggen met elkaar verbonden zijn.

fase dan ook te vergelijken met de chemische kleurstoffabrieken in de laatste helft van de vorige eeuw.

Ook molekulaair-biologen die zich bezighouden met onderzoek naar de structuur en functie van het genetisch materiaal van levende wezens, hebben zich nu ten doel gesteld om natuurvreemde biomolekulen met nieuwe eigenschappen te maken. Deze tak van de moleculaire biologie, waarbij eiwitten aan de tekentafel geconstrueerd worden, noemt men *proteïne-design* of *proteïne-engineering*. Het is reeds gelukt om door kleine veranderingen in het gen van een natuurlijk biomolekuul een kunstmatige variant met nieuwe eigenschappen te vervaardigen. Een korte terugblik in de geschiedenis zal duidelijk maken hoe uit de moleculaire biologie de synthetische biologie is ontstaan.

Erfelijke code

Dat eigenschappen van generatie op generatie worden doorgegeven was biologen reeds lang bekend. Zo wekte het veelvuldig voorkomen van bepaalde ziekten binnen één familie het vermoeden, dat er erfelijke elementen moesten bestaan. Rond 1850 ontdekte de monnik Gregor Mendel door zijn kruisingsproeven met erwten een aantal wetmatigheden die aan het overerven van eigenschappen ten grondslag liggen. De chemische verbinding die de erfelijke informatie bevat, werd nauwelijks 100 jaar later geïsoleerd door Avery, een Canadese bacterioloog. Het bleek om DNA te gaan dat al langer bekend was, maar waar niemand aandacht aan schonk omdat men zocht naar een eiwit als erfelijkheidsdrager. De ruimtelijke structuur van die stof was nog onbekend. Ook kon niemand zich voorstellen hoe één enkel molekuul zulke enorme hoeveelheden informatie op kon slaan. Doch slechts negen jaar later, in 1953, kwamen Watson en Crick tot de conclusie dat de ruimtelijke vorm van DNA een dubbele spiraalvormig gewonden keten, een dubbele helix, moest zijn. Kort daarop begreep men ook in welke codering de informatie voor de aanmaak voor tienduizenden eiwitten in het DNA ligt opgeslagen.

Het DNA is samengesteld uit een viertal verschillende basiselementen, *nucleotiden*, die elk een karakteristieke base bevatten. Drie opeenvolgende basen vormen samen een *triplet*, een

code voor de plaatsing van een bepaald aminozuur in een eiwitketen. In de natuur worden twintig verschillende aminozuren voor de opbouw van eiwitten gebruikt. De 'individualiteit' van een eiwit berust op het aantal aminozuren, waaruit het is opgebouwd en op de volgorde waarin deze aaneengekoppeld zijn. Het DNA fungeert dus als het ware als een matrijs: de opeenvolgende tripletten in het DNA worden, via de tussenkomst van boodschapper-RNA, uiteindelijk op de ribosomen in het cytoplasma vertaald in de corresponderende aminozuren. De chemisch-fysische eigenschappen van de opeenvolgende bouwstenen bepalen de ruimtelijke structuur van het eiwit.

Gentechniek

Nu de structuur van het DNA en de relatie daarvan tot de vorming van eiwitten bekend waren, ontbraken alleen nog de juiste hulpmiddelen om het genetisch materiaal te bewerken. Het begin van de gentechniek, rond 1970, wordt gemarkeerd door de ontdekking van *restrictie-endonucleasen*, enzymen die fungeren als 'moleculaire scharen', zodat het mogelijk werd DNA-strengen in stukken te knippen. Door middel van andere enzymen, zogenaamde *ligasen*, was men in staat om zulke DNA-fragmenten op de gewenste manier weer

aan elkaar te plakken. Binnen enkele jaren ontwikkelde men tevens technieken om stukjes geïsoleerd DNA van willekeurige afkomst in DNA-ringen van bacteriën, *plasmiden*, in te bouwen. Een volgende belangrijke stap was het inbrengen van genetisch veranderde plasmiden in micro-organismen, die als de gastheercel functioneerden, en waarin de plasmiden vermenigvuldigd (gekloond) werden. In 1976 slaagden onderzoekers er voor het eerst in om een op deze wijze geïntroduceerd gen in een bacterie tot expressie te brengen, of anders gezegd om een micro-organisme tot de produktie van 'lichaamsvreemde' eiwitten aan te zetten. Hiermee was in principe de weg gebaad voor een grootschalige produktie van een aantal proteïnen. Groeihormonen, bloedstollingsfactor VIII of TPA, dat patiënten met een hartinfarct het leven kan redden, worden op deze manier al op grote schaal geproduceerd.

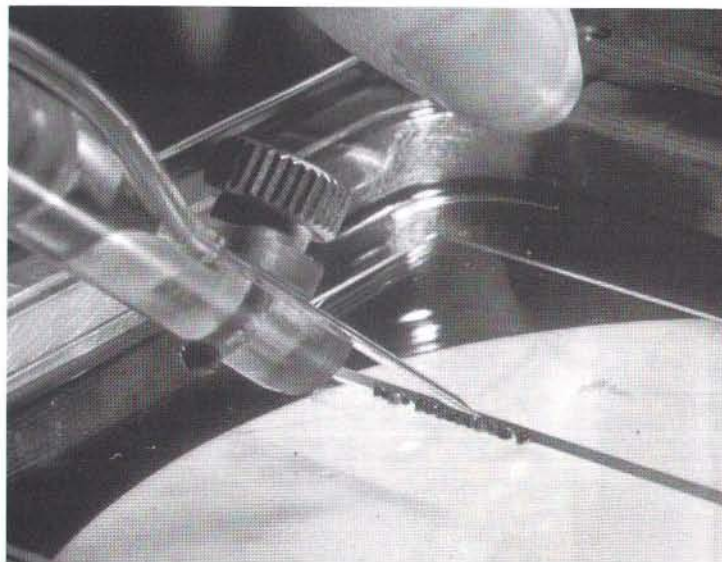
Gelijktijdig boekte de wetenschap vooruitgang op het terrein van de DNA-analyse. Nauwkeurige bepaling van de nucleotidenvolgorde in het DNA-molekuul heeft tot doel om het bijbehorende proteïne te kunnen reconstrueren. Een volgende stap was het synthetiseren van DNA in het laboratorium. Voor financieel goed bedeelde laboratoria staan hiervoor volautomatische DNA-synthesizers,

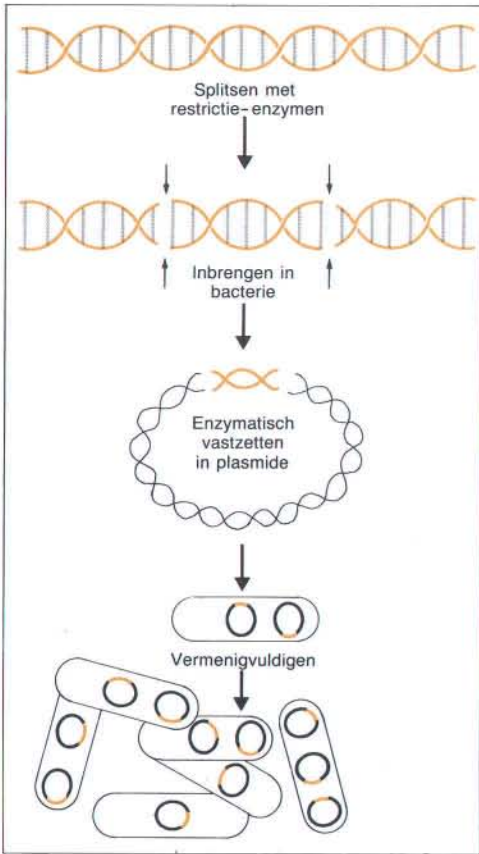
7

7. Vreemd RNA wordt ingespoten in een kikkerei, waar er vervolgens het bijbehorende eiwit aan wordt gesynthetiseerd.

8. DNA-recombinatie. Met restrictie-enzymen, die het DNA op de gewenste plaats 'knippen', isoleert men het gen dat codeert voor het gewenste proteïne. Is het gen door middel van ligasen in het plasmide verankerd, dan volgt introductie in een bacterie, waar het plasmide zich zelfstandig kan reproduceren. De bacterie vermenigvuldigt zich en produceert behalve zijn eigen proteïnen het lichaamsvreemde eiwit.

9. Reuzeplasmide uit de bacterie *Pseudomonas oleovorans*. Dit DNA-molekuul bevat circa 500 000 basenparen.





8

ter beschikking. Wat Gobind Khorana vele jaren werk kostte, geschiedt nu in enkele uren, wat het onderzoek enorm versnelt.

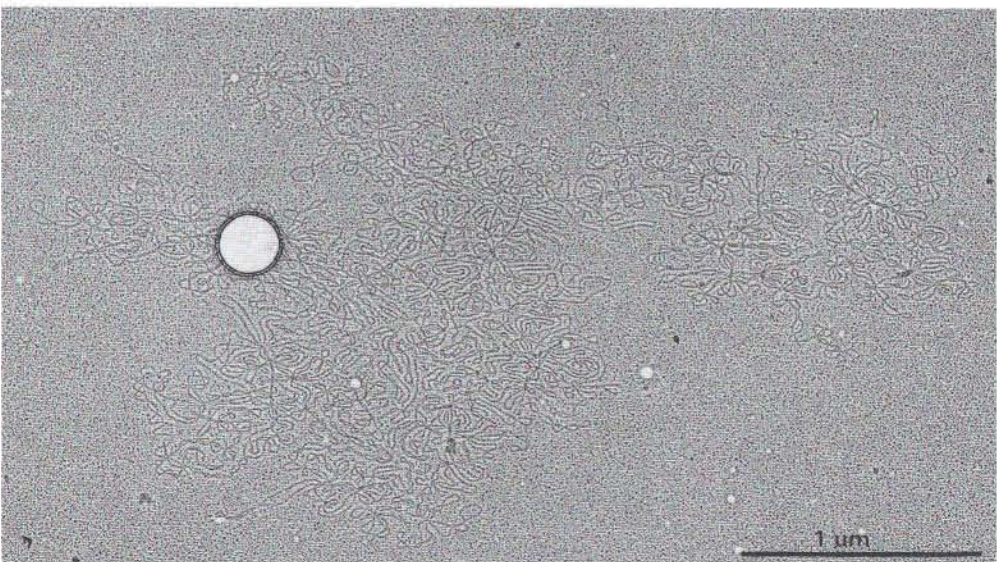
Proteïne-design

Uitgangspunt van proteïne-engineering is het gegeven dat de aminozuurvolgorde de ruimtelijke vorm en daarmee de functie van een proteïne bepaalt. Vervanging van één of meerdere aminozuren in de keten zou dus moeten leiden tot een verandering in de functie van het eiwit.

Zo hebben Amerikaanse onderzoekers zich de laatste jaren geconcentreerd op het ontwerpen van een niet-zuurstofgevoelige variant van het bloedserumproteïne alfa-antitrypsine. Dit eiwit speelt in het lichaam een belangrijke rol bij het voorkomen van longbeschadigingen, zoals longemfyseem. Het remt namelijk de werking van het enzym elastase, dat de elasticiteit van de longblaasjes aantast. Alfa-antitrypsine is echter sterk gevoelig voor zuurstof en heeft een zeer geringe levensduur, die door roken nog extra bekort wordt.

Door een nauwgezette analyse ontdekten de onderzoekers dat de zuurstofgevoeligheid van alfa-antitrypsine, bestaande uit 394 eenheden, gelegen is in het 358-ste aminozuur: methionine. Deze bouwsteen vervingen zij door een ander aminozuur, in het ene geval

9



door valine, in het andere geval door arginine. De valinemutant vertoonde niet alleen een volledige activiteit als elastaseremmer, maar was ook werkelijk ongevoelig geworden voor zuurstof. Iets heel anders gebeurde bij de argininevariant. Deze was zijn elastaseremmende werking kwijt. Dit gewijzigde biomolekuul bleek echter een geheel nieuwe eigenschap te bezitten: de bloedstollingsfactor thrombine wordt door deze stof in zijn werking geremd. Afgezien van de succesvolle resultaten van beide experimenten, maakt dit voorbeeld ook duidelijk welke enorme inspanningen het vergt om proteïnen aan de tekentafel te construeren.

Driedimensionale structuur

Met behulp van een zeer gevoelige, maar tevens kostbare techniek, de röntgen-structuuranalyse, is het tot nu toe gelukt om van ongeveer 200 eiwitten de driedimensionale structuur te achterhalen. Helaas heeft men nog geen wetmatigheid ontdekt die het verband tussen de aminozuurvolgorde en de ruimtelijke structuur van het eiwit aangeeft. Pas als deze relatie is opgehelderd, kunnen proteïne-engineers deze gigantische opgave vervullen. Een eenvoudige rekensom maakt dit duidelijk.

Glycine, het kleinste aminozuur, bestaat in een eiwit nog uit zeven atomen. Het grootste en tevens meest gecompliceerde aminozuur is tryptofaan met 21 atomen. Om inzicht te krijgen in de opbouw van een eiwit als alfa-antitrypsine, dat uit circa 400 aminozuren is opgebouwd, zouden de relatieve posities van 10 000 atomen berekend moeten worden. Vervolgens is het de kunst om van de ontelbare mogelijke combinaties die molekulen te identificeren die onder de gegeven omstandigheden stabiel zijn. Ongetwijfeld zou de synthetische biologie zonder hulp van supercomputers en computerspecialisten dan ook als verloren kunnen worden beschouwd. Ondanks alle hindernissen zijn de eerste stappen gezet op weg naar het creëren van onbekende biomolekulen met nieuwe eigenschappen.

Creatief

In het Gen-Zentrum in München werkt dr. Plückthun aan de constructie van nieuwe enzymen door het ombouwen van *antilichamen*. Antilichamen of *immuunglobulines* zijn eiwitten, die het lichaam vormt als het in contact komt met een vreemde stof. Deze afweerstoffen in het bloed binden zich aan de

10. Alfa-antitrypsine. In dit geval is het molekuul in het actieve centrum doormidden 'geknipt', om het mechanisme dat aan de remmende werking van dit enzym ten grondslag ligt te bestuderen, onder meer vanwege de opvallende gelijkenis die het vertoont met het eiwit antithrombine. Amino-zuur 12 tot en met 358 is hier groen, nummer 359 tot 395 is rood. De ingreep heeft het functionele gedeelte van het enzym geheel ontworpen: amino-zuur 358 bevindt zich nu rechts-onder, nummer 359 linksboven in beeld. Het gemodificeerde enzym is inactief geworden.

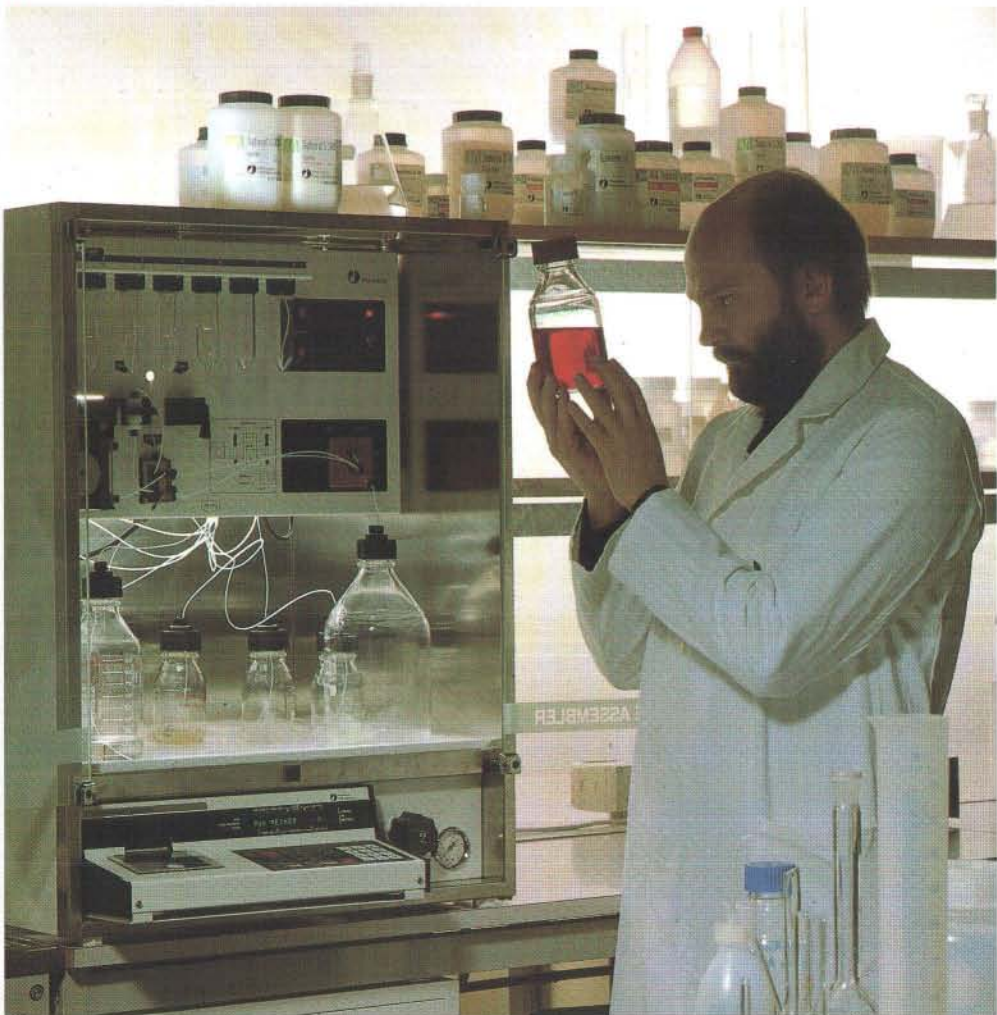
10



vreemde substantie, waarna deze door verteerende cellen kan worden aangegegrepen. Evenals enzymen binden antilichamen zich alleen aan specifieke stoffen volgens het sleutel-slotprincipe. Het ontbreekt de antilichamen echter aan de eigenschap om een chemische reactie in gang te zetten, dit in tegenstelling tot enzymen. Het onderzoek is er dan ook op gericht om antilichamen zodanig te veranderen dat zij ook hiertoe in staat zijn. Een voordeel van het gebruik van antistoffen als uitgangsmateriaal is dat hun ruimtelijke structuur bekend is en dat slechts een klein deel van het molecuul betrokken is bij het contact met de betreffende li-

11. DNA-synthesizer. Dit apparaat maakte het mogelijk DNA-fracties te zuiveren en fragmentjes genetisch materiaal met een lengte van 10 à 40 nucleotiden in de gewenste volgorde aaneen te koppelen. Ook kan op deze manier een gen uit het DNA worden gelicht en na vervanging van één of meerdere basen opnieuw worden ingebouwd. Het hoeft geen betoog dat een dergelijke vorm van automatisering de molekulair-bioloog veel werk bespaart.

11



chaamsvreemde stof. Het resterende gedeelte doet dienst als 'skelet'. Bij enzymen daarentegen heeft bijna de totale structuur van het molecuul invloed op de werkzaamheid. Om een functioneel enzym te ontwerpen zal de proteïndesigner zich praktisch de hele ruimtelijke structuur van het bijbehorende substraat voor de geest moeten halen. Immers, alleen als enzym en substraat als sleutel en slot op elkaar passen, kan het enzymatische biomolecuul een reactie in gang zetten.

Aan de universiteit van Zürich heeft men nu voor het eerst een eiwit weten te maken, dat is ontsproten aan het brein van een proteïndesigner. Professor Bernd Gutte synthetiseerde kort geleden, op grond van een ontwerp,

moment beslist nog niets. Er ontbreekt namelijk nog een tweede functie die dit kunsteiwit zou moeten kunnen vervullen: de afbraak van het milieugif. Zou de constructie van dit tweede domein, zoals biochemici de functionele onderdelen van enzymen noemen, lukken dan zou men een enzym hebben geconstrueerd, waarmee men tot nu toe niet-afbreekbare kunstmatige producten zou kunnen ontgiften.

Biochip

Met deze twee experimenten is de basis gelegd voor een revolutionaire ontwikkeling van de gentechniek ten behoeve van de industriële productie. Zoals de chemie tegenwoordig

12. Vroeger moest men zich met modellen behelpen om inzicht te krijgen in de geometrie van molekulen. Tegenwoordig staan de onderzoeker computer graphics en simulatietechnieken ter beschikking om (hypothetische) molekulen driedimensionaal weer te geven. De farmacologie maakt hier dankbaar gebruik van voor het ontwikkelen van effectievere medicijnen.

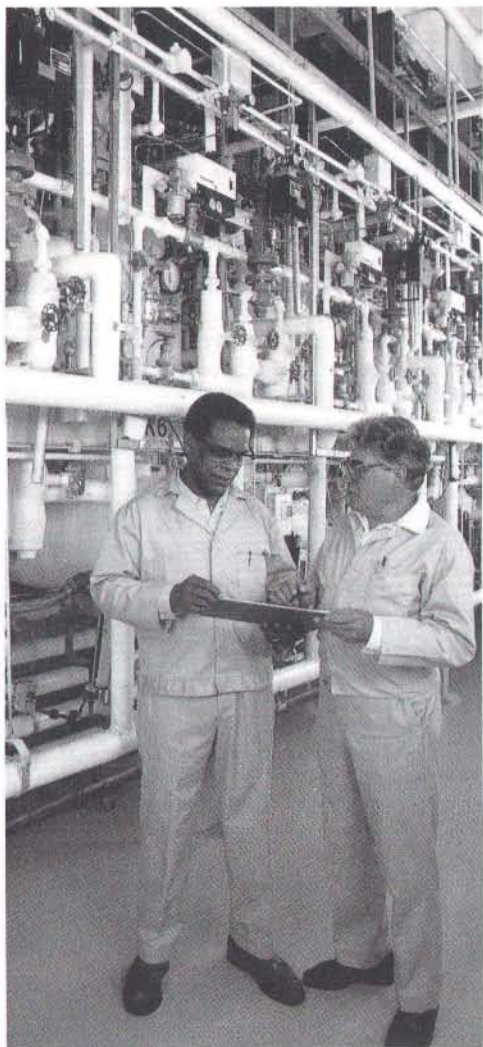
13. Extra beveiligde fermentatietank om te voorkomen dat genetisch gemanipuleerde organismen ontsnappen. De laatste tijd roepen met name buitenexperimenten met DNA-recombinantbacteriën felle reacties op. Hun overlevingskansen in de natuur en gevaren bij verspreiding zijn een twistpunt.



12

een eiwit van 24 aminozuren. Dit kunsteiwit kan een verbinding aangaan met het insecticide DDT (4,4-dichloor-DDT om precies te zijn). Roland Mertz, mijn medewerker in München, heeft de aminozuurvolgorde inmiddels vertaald in de bijbehorende DNA-basenvolgorde en aan de hand daarvan een kunstmatig gen geconstrueerd. Onlangs is men erin geslaagd om dit kunstgen in *Escherichia coli* bacteriën in te brengen en deze genetisch veranderde bacterie aan te zetten tot de productie van het kunsteiwit. Wat kan men beginnen met een proteïne dat aan DDT bindt? Op dit

kunststoffen 'op maat maakt' voor een bepaalde toepassing, zo zou men in de toekomst specifieke geneesmiddelen kunnen ontwerpen, die alleen bepaalde stoffen aangrijpen, terwijl zij andere ongemoeid laten. Hoewel we hier te maken hebben met langdurige ontwikkelingen, begint zich een beeld af te tekenen, hoe de toekomst eruit zou kunnen zien. Er zal een chemische industrie opbloeien, die niet alleen veel natuurlijke stoffen fabriceert, maar ook allerlei nieuwe producten langs biotechnologische weg tot stand brengt; uit de chemische fabriek van vandaag zal geleidelijk de biofabriek



13

van morgen ontstaan. Als gevolg daarvan zal het onderzoek van de chemisch-farmaceutische industrie veel meer biochemisch gericht worden. De landbouw zal zich, mogelijk veel duidelijker dan nu, in twee takken splitsen: de productie van voeding en van industriële grondstoffen. De agrarische grondstoffen zouden tot biotechnologische producten verwerkt kunnen worden. Tenslotte is het denkbaar dat computerfabrikanten, op een andere manier dan tot nu toe, betrokken raken bij de opmars van de biotechnologie. Synthetische enzymen zouden gebruikt kunnen worden als biosensoren op microchips voor het uitvoeren van metingen. Enkele wetenschappers zijn al bezig met de ontwikkeling van *biochips* en biocomputers. Zou men in plaats van de nu gebruikte siliciumkristallen biologische structuren aanwenden voor informatie-opslag, dan zou de miniaturisering van de micro-elektronika, die door fysische factoren wordt beperkt, verder kunnen worden doorgevoerd. De ontwikkelingen van de bio-elektronische industrie die daaruit zou ontstaan, zijn op dit moment nog niet te overzien.

Ik heb hier bewust mijn fantasie de vrije loop gelaten, niet om een rooskleurige toekomst te schetsen, maar om de draagwijdte en de betekenis van de gentechniek, en daarmee van de synthetische biologie, duidelijk te maken. In de ogen van velen heeft de industriële ontwikkeling geleid tot twee afzonderlijke werelden, die tot op heden onverenigbaar leken: de natuurlijke wereld en de door de mens geschapen technische wereld. Mogelijk slaat de synthetische biologie een brug tussen deze twee werelden.

Literatuur

- Antébi E en Fischlock D. Biotechnologie. Een nieuwe industriële revolutie. Maastricht: Centrale Uitgeverij, 1987.
 Bloemendal H et al. Biotechnologie – Over DNA en genetische manipulatie; cursusboek. Utrecht: Stichting Teleac, 1985/1986.
 Molenaar L en Kooiman P: Chemie en samenleving – Van kleurstof tot kunstmest. Maastricht: Centrale Uitgeverij, 1986.

Bronvermelding illustraties

- Matteus BW, Institute of Molecular Biology, University of Oregon: opening.
 Eli Lilly Nederland, Utrecht: 3.
 Philips, Eindhoven: 4.
 Schellekens H, Primatencentrum TNO, Rijswijk: 5.
 Postma JPM en Bosshard HE, EMBL, Heidelberg: 6.
 Hoffmann-La Roche, Mijdrecht: 7, 13.
 Arnberg AC, Biochemisch laboratorium, RU Groningen: 9.
 CAOS/CAMM-center, Katholieke Universiteit Nijmegen: 10.
 Pharmacia AB, Uppsala, Zweden: 11.
 Bayer, Leverkusen: 12.

DE KWATTA IN

VROEGE BEWONERS VAN SURINAME



Dit in Kwatta-Tigri Holo opgegraven skelet van een volwassen man werd gevonden liggend op de zij en met opgetrokken knieën. Andere skeletten waren op de rug liggend begraven.

M.R. Khudabux
*Afdeling Anatomie
Universiteit van Suriname
Paramaribo*

Tj.D. Bruintjes
Leiden



DIANEN

In de jaren vijftig werd in het Kwattagebied, nabij Paramaribo, tijdens de bewerking van een akker menselijk botmateriaal gevonden. Het ging om resten van Indiaanse bewoners van deze streek uit 800 tot 1000 na Christus. De vondsten waren aanleiding tot het verrichten van verschillende opgravingen in dit gebied en inmiddels zijn al meer dan 50 skeletten geborgen. Dit is tot nu toe de grootste collectie skeletten van Pre-Columbiaanse Indianen uit het noordelijk deel van Zuid-Amerika. Wat kunnen we aan dit skeletmateriaal aflezen? Wat leren deze gegevens ons over de vroegere bewoners?

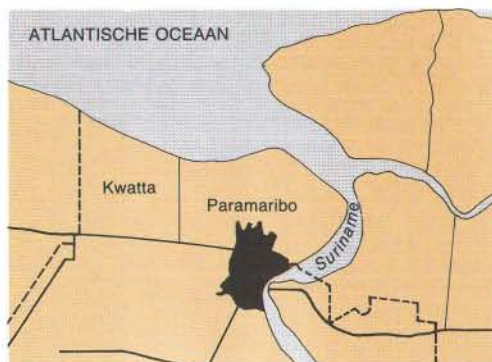
In de jaren vijftig werden op de akker van de landbouwer Badrising in Kwatta-Tingi Holo te Suriname resten gevonden van menselijke skeletten, vergezeld van fragmenten van aardewerk, sieraden en werktuigen. Naar aanleiding hiervan begon de toenmalige directeur van het Surinaams Museum, D.C. Geyskes, in 1960 met een opgraving in dit gebied. Het zou de eerste zijn in een reeks van vele. De meest recente opgraving vond plaats in het najaar van 1986 en was een gemeenschappelijke onderneming van de afdeling anatomie van het Medisch-Wetenschappelijk Instituut te Paramaribo en de Archeologische Dienst van het Surinaamse Ministerie van Onderwijs, Wetenschappen en Cultuur. Het graafwerk dat in al die jaren werd uitgevoerd leverde een collectie op van meer dan 50 skeletten, afkomstig van vroege bewoners van de Surinaamse kuststreek. Op grond van aardewerkvondsten concludeerde men dat het ging om Indianen van de Kwattacultuur. Zij maakten aardewerk dat wordt gekenmerkt door een rode beschildering en appliqué versieringen. Koolstof-14 datering wees uit dat het archeologisch materiaal uit 800 tot 1000 na Christus stamde.

Over de Indiaanse bevolking van Suriname uit deze periode was nog niet zoveel bekend. De collectie skeletten uit Kwatta bood door haar omvang en goede conservering een uitstekende mogelijkheid om aan de hand van het botmateriaal meer te weten te komen over die vroege bevolking.

Dat de skeletten zo goed bewaard gebleven zijn is te verklaren doordat ze begraven waren in de kalkrijke grond van een *rits*. Dit is een strand van zand en schelpen dat is ontstaan in een periode van kustaangroei. Er is ook klei afgezet, waardoor de grond zeer goed geschikt werd voor landbouw. De conservering van botten is alleen in de kuststreek zo goed; meer landinwaarts wordt kalk door het hoge zuur-gehalte van het grondwater snel opgelost, zodat er van botten weinig overblijft.

Het gebied waar het materiaal werd gevonden is een oost-west lopende rits met een breedte van circa 35 m en een lengte van ongeveer 300 m. De skeletten lagen op verschillende diepten, doorgaans maar enkele tientallen centimeters onder het grondoppervlak. De maximale diepte waarop de resten werden gevonden was ongeveer 80 cm.

De individuen werden begraven met en zonder latere herbegraving. Zij werden op de zij of op de rug liggend aangetroffen, met opgetrokken knieën of, minder vaak, met de benen gestrekt. De oriëntatie van de *inhumaties* (begravingen) leek weinig consistent. De lichamen lagen niet steeds in dezelfde richting. In een aantal gevallen was het skelet incompleet of was de samenhang tussen de beenderen ver-

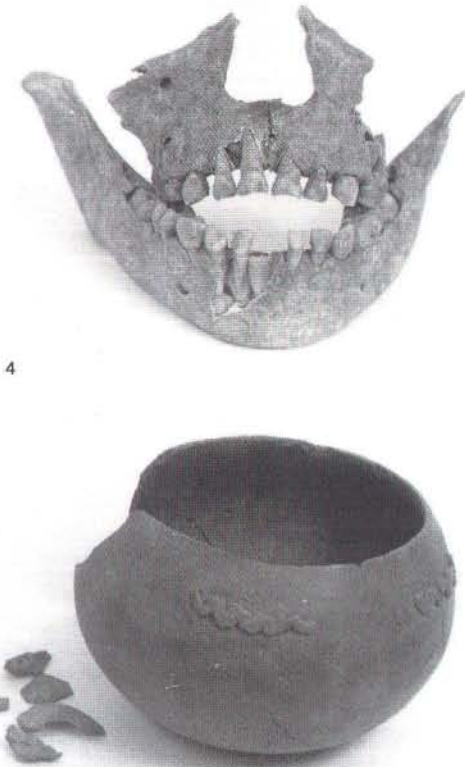


2



3





1. Het kouseband- en aubergineveld van landbouwer Badrising, waar de hier beschreven skeletten gevonden zijn. Door de kalkrijke bodem konden de skeletten hier eeuwenlang geconserveerd worden.

2. Het terrein van de opgraving ligt op enkele kilometers west van de Surinaamse hoofdstad Paramaribo.

3. Zeer jonge kinderen werden niet in een normaal graf begraven, maar in een urn. Op de foto zien we zo'n urn met daarnaast gerangschikt de verschillende skeletdelen die erin gevonden zijn. Let ook op de appliqué versieringen op de urn in de vorm van slingerende kleirolletjes (slangen) die kenmerkend is voor de Kwatta-stijl.

4. Men kan de leeftijd van een kinderlijk skelet bepalen aan de hand van de doorbraak van de gebitselementen. In dit melkgebit zijn delen van het definitieve gebit reeds te zien.

dwenen. De botten van verschillende individuen lagen dan kris-kras door elkaar. Hier zal sprake geweest zijn van één of misschien meer herbegravingen.

Een heel aparte begraafwijze was gereserveerd voor twee kinderen van een half tot anderhalf jaar oud, die tijdens de laatste opgraving in 1986 in twee aparte urnen werden aangetroffen. Dat dit wel meer gebeurde, ook bij volwassen individuen, is uit vorige opgravingen gebleken. De urnen hadden de typische beschrijving en versiering van de Kwatta-cultuur. Het was duidelijk aan de botten te zien, dat het niet ging om crematieresten. Kennelijk was het gebruik bij de Kwatta-Indianen zuigelingen in potten te begraven.

Wat zal de betekenis van het grafveld geweest zijn? Uit de aardewerkvondsten weten we dat er ter plekke een nederzetting geweest moet zijn, maar resten van de hutten werden tot op heden niet gevonden. Het is echter wel bekend dat tot ver in deze eeuw Surinaamse Indianen hun doden begroeven onder de vloer van hun woonhut. Of dit ook zo geweest is bij de Kwatta-Indianen konden we niet vaststellen.

Het merendeel van de skeletten werd overgebracht naar het Medisch-Wetenschappelijk Instituut te Paramaribo, waar ze op de afdeling anatomie werden onderzocht. Omdat nog niet al het botmateriaal is geanalyseerd, beperken we ons hier tot de eerste en meest opvallende resultaten. Zij geven een illustratie van de verschillende aspecten en mogelijkheden van modern skeletonderzoek.

Allereerst werd het geslacht en de leeftijd van de begraven individuen bepaald (zie Intermezzo). Bij al het onderzochte materiaal bleek het aantal mannen ongeveer gelijk te zijn aan het aantal vrouwen. De leeftijden varieerden sterk, maar heel hoge leeftijden waren zeldzaam. De meeste individuen moeten zijn gestorven voor of in de bloei van hun leven, iets wat vaker is vastgesteld bij prehistorische Indiaanse bevolkingsgroepen. Al is het aantal onderzochte skeletten nog onvoldoende voor een uitgebreide *paleodemografische* studie, waarin men de samenstelling van een bevolkingsgroep tracht te reconstrueren, toch geven de meer dan 50 begravenen een beeld van het grafveld zelf. Of de onderzochte skeletten een representatieve steekproef vormen uit de hele bevolkingsgroep is niet zeker.

Gebit

Onderzoek van het gebit neemt een belangrijke plaats in bij de analyse van skeletmateriaal. Het is het meest duurzame deel van het skelet, terwijl het, ironisch genoeg, tijdens het leven het meest aan bederf onderhevig is.

Tandbederf (*cariës*) werd veelvuldig aangetroffen in de onderzochte gebitten, evenals *abcessen* (pusophopingen) die zichtbaar waren als kleine 'kraters' in het kaakbot. Abscesvorming en verlies van tanden of kiezen zal meestal het gevolg zijn geweest van cariës, vooral bij de jongere individuen. Bij de ouderen zal *paradontitis*, dat wil zeggen een ontsteking van het weefsel dat de tanden omgeeft, het tandvlees en kaakbot dus, een rol gespeeld hebben. In het skelet ziet men dit aan het terugtrekken van het bot rondom de gebitselementen (*alveolaire resorptie*), wat ook in dit materiaal werd signaleerd.

Wat kan men afleiden uit het feit dat cariës zo veel voorkwam? Cariës wordt in het algemeen geassocieerd met consumptie van suikers. Suikerriet werd echter pas in de zestiende eeuw in het voedsel van de Indianen geïntroduceerd. Er moeten dus voedingscomponenten geweest zijn die veel koolhydraten bevat hebben. Te denken valt aan cassave, zoete aardappel of bepaalde vruchten. Misschien heeft een erfelijk bepaalde verhoogde gevoeligheid voor het krijgen van cariës ook een rol gespeeld.

Tenslotte waren in een aantal gebitten snijtanden aanwezig die een typische spadevorm hadden. Dit is geen afwijking maar een nor-

5. In veel van de gevonden gebitten zijn sporen van cariës aangetroffen. De drager van dit gebit moet zeer veel pijn gehad hebben aan het gat in de kies in de onderkaak links. De laag tandsteen op de kiezen aan die kant laat zien dat het voedsel aan de andere kant gekauwd werd.

6. In de graven zijn ook siervoorwaarden gevonden. Het afgebeelde voorwerp is vermoedelijk een lippug, een stukje schelp dat voor de sier door de onderlip werd gestoken. Deze gewoonte komt ook nu nog bij Surinaamse Indianen voor.

7. Zoals bij iedere archeologische opgraving gebeurt, werd ook hier de plaats van de vondsten nauwkeurig in kaart gebracht. De meeste skeletten zijn op geringe diepte, minder dan 80 cm, gevonden.



7

5



6





male variant van de vorm van de snijtanden. Deze komt veel voor bij mongoloïde volkeren, inclusief Indianen, en is zeldzaam bij Europeanen. Het frequent voorkomen van spadevormige snijtanden illustreert de verwantschap tussen volkeren in Azië en de Amerikaanse Indianen. Immers de vroegste bewoners van de Nieuwe Wereld waren afkomstig uit Siberië. Ongeveer 30000 jaar geleden trokken ze via de toen droogliggende Beringstraat Alaska binnen om van daaruit het nieuwe continent te bevolken.

Dit soort reconstructies van verwantschapsrelaties tussen volkeren, maar ook tussen indi-

viduen, wordt gerekend tot het onderzoekgebied van de *paleogenetica*. Erfelijk bepaalde skeletkenmerken, zoals spadevormige snijtanden, spelen hierbij een centrale rol.

Ziekten

Een beperkt aantal ziekten laat sporen achter in het botweefsel. Wij onderzochten of zulke sporen bij de door ons gevonden skeletten terug te vinden waren. Meestal gaat het om degeneratieve ziekten, verwondingen en chronische infectieziekten. In het onderzochte botmateriaal werden voorbeelden van ziekten uit elk van deze groepen aangetroffen. *Arthrose* (osteoarthritis) is een degeneratieve afwijking die in veel skeletten aanwezig was, vooral bij de oudere individuen. Het gewrichtskraakbeen is dan 'versleten' en nieuw bot heeft zich gevormd aan de randen van het gewricht. Dit laatste is zichtbaar aan het skelet; vooral in de wervelkolom is het meestal duidelijk te zien. Deze veranderingen komen op oudere leeftijd bij vrijwel alle mensen voor en leiden niet altijd tot klachten.

Botbreuken met tekenen van genezing werden maar weinig gevonden en afwijkingen door andere verwondingen helemaal niet. Kwetsuren kwamen kennelijk niet veel voor.

Bij enkele skeletten werden typische afwijkingen gevonden in de lange pijpbeenderen en de schedel. Er waren plekken zichtbaar op het bot met een hobbelig en onregelmatig oppervlak en in het midden een 'krater'. Dergelijke *gummata* wijzen op een infectie met *Treponema*. Micro-organismen van dit genus veroorzaken de geslachtsziekte syfilis, maar kunnen ook milder verloopende ziekten veroorzaken, zoals *framboesia* (Eng. yaws) en *bejel*, die ook door direct contact worden overgedragen. Framboesia en bejel komen tegenwoordig nog voor in warme streken waar de mensen in primitieve omstandigheden leven, zoals destijds de Kwatta-Indianen. Syfilis daarentegen wordt vooral in gebieden met een wat hogere levensstandaard gevonden. Al deze ziekten kunnen sporen in het botweefsel achterlaten. Omdat het moeilijk is ze van elkaar te onderscheiden, spreekt men meestal van *treponematose* om een infectie met *Treponema* aan te duiden.

Dat bij de Kwatta-Indianen treponematose voorkwam, ondersteunt de theorie dat deze infectieziekte al aanwezig was in de Nieuwe We-

Bepaling van geslacht en leeftijd

De botten van mannen en vrouwen verschillen van elkaar in metrisch opzicht (qua maatverhoudingen) en in morfologisch opzicht (qua vorm). Dit *geslachtsdimorfisme* is bij het bekken het meest uitgesproken. Er is daar immers ook sprake van een functioneel verschil tussen man en vrouw. Het mannelijk bekken is hoog met steil geplaatste darmbeenvleugels en een min of meer hartvormige bekkeningang. De hoek tussen de twee schaambeenderen is scherp. Het vrouwelijk bekken heeft meer breed geplaatste darmbeenvleugels en een eivormige bekkeningang. De schaamhoek is stomp. Dit vormverschil heeft alles te maken met de ruimte die nodig is om bij de baring de boreling soepel ter wereld te brengen. Verder zijn er kenmerken aan de afzonderlijke bekkensbeenderen waaruit het geslachtsverschil blijkt.

Pas in tweede instantie kijkt men naar de schedel. De geslachtsbepaling is daar veel minder betrouwbaar. De verschillen zitten onder meer in de wenkbrauwbogen, de hoek van het voorhoofd en de voorhoofdsruin. Helaas is het niet altijd mogelijk aan skeletmateriaal het geslacht vast te stellen. Er zijn immers ook verschillen tussen individuen van dezelfde sekse in grootte en vorm van de beenderen. Bovendien kunnen geslachtskenmerken per populatie verschillen. Ze behoeven niet hetzelfde te zijn bij bijvoor-

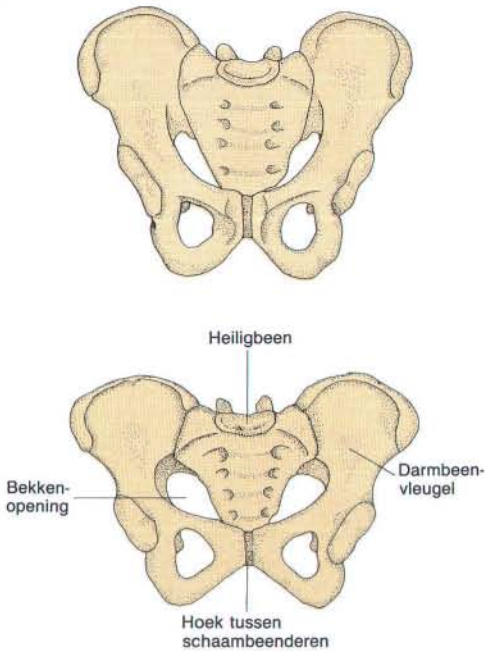
beeld hedendaagse Europeanen en Indianen van 1000 jaar geleden.

Voor de bepaling van de biologische leeftijd van overlijden, dat wil zeggen de skeletveroudering uitgedrukt in jaren, moet men onderscheid maken tussen volwassenen en niet-volwassenen. Bij de laatsten krijgt men een redelijk precieze schatting van de leeftijd door te kijken naar het gebit (in hoeverre zijn de tanden en kiezen doorgebroken), de verbening van bepaalde skeletdelen (bijvoorbeeld de fontanellen) en de sluiting van de groeischijven. Bij volwassenen is het wat moeilijker de leeftijd te bepalen. Men bestudeert dan de veranderingen in het gewricht van het schaambeen en veranderingen in de binnenste structuur van de uiteinden van opperarmbeen en dijbeen. Samen met de sluiting van de schedelnaden vormen zij de belangrijkste leeftijdsindicatoren. Gebitsslijtage, hoewel sterk beïnvloed door het dieet, geeft ook vaak een aanwijzing. Daarnaast zijn er microscopische en biochemische methoden ontwikkeld. Alle uitkomsten moet men voorzichtig interpreteren. Men vergelijkt immers met recent botmateriaal waarvan de leeftijd bekend is, terwijl de verouderingsverschijnselen in het skelet vroeger en nu niet hetzelfde behoeven te zijn. Dit nog afgezien van chemische veranderingen die zich na de begraving in de grond afspeelen.

8



8. Sommige ziekten laten sporen na in het skelet. De bovenste foto laat een rechterbovenarm zien met een geheelde breuk vlak boven het ellebooggewricht. De onderste foto toont de voorzijde van een rechterscheenbeen met een kratervormig gat rechts. De aanwezigheid hiervan duidt op besmetting met de *Treponema*-bacterie.



I. De vorm van het bekken is een belangrijk criterium voor de geslachtsbepaling. Boven is een mannelijk bekken afgebeeld, onder een vrouwelijk.

reld vóór het eerste contact met Europeanen. Treponematoze illustreert de mogelijkheid die skeletonderzoek biedt om een karakteristiek ziektepatroon in een bepaalde bevolkingsgroep te achterhalen.

Op deze wijze kan men een reconstructie maken van de gezondheidstoestand van een historische of prehistorische populatie. Men betreedt dan het terrein van de *paleopathologie* en het zal duidelijk zijn dat hier de overlap tussen het skeletonderzoek en de medische wetenschap groot is.

Kunstmatige schedeldeformatie

Het kunstmatig veranderen van de vorm van de schedel was bij veel Zuidamerikaanse volkeren gebruikelijk. In het gebied van de Caraï-

bische kust kwam een bepaald type deformatie voor, dat men *parallelo-fronto-occipitaal* noemt. Het voorhoofd (Lat. *frons*) en het achterhoofd (Lat. *occiput*) werden afgeplat met bijvoorbeeld buigzame plankjes, zodat ze evenwijdig aan elkaar kwamen te lopen. Dit moest tijdens de groei, op heel jonge leeftijd gebeuren. De motieven die hieraan ten grondslag lagen hingen veelal samen met bepaalde schoonheidsidealen of met de wens een bepaalde sociale status aan te geven.

Bij een aantal van de onderzochte schedels uit Kwatta werden aanwijzingen gevonden voor kunstmatige schedeldeformaties van het parallelo-fronto-occipitaal type. Dit betekent dat deze deformatie dus ook voorkwam in Suriname in 800 tot 1000 na Christus. In de loop van de tijd is de gewoonte echter verdwenen en bij de hedendaagse Indianen wordt zij niet meer waargenomen. Er zijn reisbeschrijvingen uit de 18e eeuw, waaruit blijkt dat schedeldeformatie toen nog wel werd toegepast bij Surinaamse Indianen. Dat dit gebruik zo lang in zwang is gebleven laat overigens zien dat er geen nadelen uit hoeven voort te vloeien voor de ontwikkeling van een kind.

Harrislijnen

Tijdens de menselijke groeiperiode worden 'gebroken', zoals ziekten of voedingstekorten, in het bot in de zogenaamde Harrislijnen vast-



9. Een ander verschijnsel dat zijn sporen in het skelet achterlaat is arthrose bij oudere mensen. Deze lendewervel is erdoor aangetast, wat te zien is aan de botwoekeringen aan de rand van het wervellichaam.

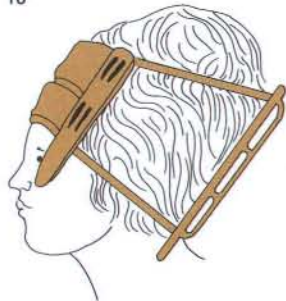
gelegd. Op een röntgenfoto van een pijpbeen zijn ze zichtbaar als dwarse streepjes die duiden op een verhoogde botdichtheid. Ze zijn het duidelijkst te zien in het onderste deel van het scheenbeen. Men kijkt dan vooral naar de dikste lijnen, die het gevolg zijn van ernstige groeigebreken. Iedere lijn komt overeen met één storing in de groei. Dus als deze vaker voorkomen, ontstaan er ook meer lijnen. Door nu in verschillende populaties het gemiddeld aantal Harrislijnen per individu te bepalen, kan men de gezondheidstoestand van die populaties vergelijken.

Bij de Kwatta-Indianen was de frequentie in dezelfde orde van grootte als die bij andere prehistorische Zuidamerikaanse bevolkings-

groepen, zodat hun gezondheid niet duidelijk beter of slechter was. Maar in vergelijking met bijvoorbeeld een populatie van Nederlandse walvisvaarders uit de 17e en 18e eeuw, waarvan men weet dat ze een weinig voorspoedige groeiperiode hadden doorgemaakt, staken de Kwatta-Indianen ongunstig af.

Bij een aantal individuen was duidelijk een regelmatig patroon in de Harrislijnen te herkennen. Doordat de leeftijden waarop ze gevormd waren berekend konden worden aan de hand van de plaats van de lijnen in het bot, zagen we dat elk jaar nieuwe lijnen ontstaan moeten zijn. Deze periodiciteit kan verklaard worden door aan te nemen dat er een jaarlijks terugkerend tekort aan een belangrijke com-

10



10. Bij een aantal schedels uit het Kwattagebied zijn sporen gevonden van kunstmatige schedelformaties, waarbij voor- en achterhoofd met behulp van buigzame plankjes werden afgeplat. Vermoedelijk had de deformatie een statusfunctie of werd er een schoonheidsideaal mee vervuld.

11. Een Indiaanse vrouw uit Galibi (Oost-Suriname) maakt een pot. Wat opvalt is dat de appliquéversiering ontbreekt; de versiering is er nu opgeschilderd en vertoont maar weinig overeenkomsten met de Kwatta-stijl.

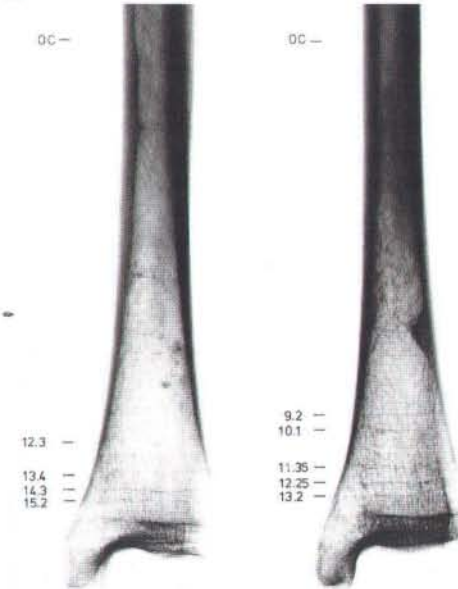
11



ponent in de voeding geweest is. De Surinaamse Indianen van toen waren, net als nu, tegelijkertijd jagers, verzamelaars, vissers én landbouwers. Een tekort aan dierlijk eiwit is heel waarschijnlijk, als men bedenkt dat aan het einde van het lange regenseizoen de waterspiegel gestegen was. Hierdoor werd de visvangst bemoeilijkt. Ook de jacht leverde dan minder op, omdat dieren op veel plaatsen water konden vinden en dus een moeilijker te vangen prooi waren. De landbouw, met name het belangrijkste produkt cassave, kon onvoldoende eiwitten leveren om het tekort aan dierlijk eiwit in de voeding te compenseren. Dit beeld wordt vanuit de archeologie bevestigd. Uit het voorgaande blijkt dat skeletonderzoek

een interessante rol kan spelen bij de reconstructie van de geschiedenis en leefwijze van bevolkingsgroepen uit het verleden. De beschikbare historische en archeologische kennis kan met skeletonderzoek, dat *demografische* en *genetische* gegevens over een populatie levert, worden aangevuld. Zeker als historische bronnen ontbreken, zoals bij de Pre-Columbiaanse Indianen uit Suriname, is het skeletonderzoek van belang. Er is echter niet alleen een samenhang met de geschiedenis en de archeologie. Ook de verwevenheid met de medische wetenschap is groot. Immers, reconstructies van ziektepatronen in vroeger tijd kunnen ons veel leren over een ziekte zelf en leiden tot een beter inzicht in oorzaak en verloop.

12



12. Stagnaties in de groei, bijvoorbeeld door gebrek aan adequate voeding, worden in het skelet zichtbaar als zogenaamde Harrislijnen. Deze röntgenopname van twee scheenbeenderen laat Harrislijnen zien en de leeftijden waarop ze ontstaan zijn. Er is een duidelijk jaarlijks patroon.

Met dank aan Drs B.S. Mitrasingh, Archeologische Dienst van het Ministerie van Onderwijs, Wetenschappen en Cultuur voor het organiseren van het veldwerk, aan mw. drs L. Brus voor haar hulp tijdens het onderzoek en aan Prof dr G.J.R. Maat, Department of Anatomy, Kuwait University, Dr J. Tacoma, Laboratorium voor Anatomie en Embryologie, RU Utrecht en Dr A.H. Versteeg, Archeologisch Centrum, RU Leiden voor het kritisch doorlezen van het manuscript.

Literatuur

- Brothwell DR. Digging up bones. London: British Museum (Natural History), 1981, ISBN 0 19 858510 1.
- Khudabux MR, Maat GJR, Versteeg AH. The remains of prehistoric amerindians of the Tingi Holo ridge in Suriname. A physical anthropological investigation of the Versteeg collection. Proceedings 12th congress of the International Association for Caribbean Archeology, Cayenne, July/August 1987.
- Tacoma J. American Indians from Suriname. Thesis. Rijksuniversiteit Utrecht, 1963.
- Versteeg AH. C-14 dateringen van archeologische vindplaatsen in Suriname. Mededelingen van de Surinaamse Musea 1981; 32, 38-56.
- Versteeg AH. Onderzoek naar de Indianen van Pre-Columbiaans Suriname. Suralco Magazine 1983; 15: 1, 1-5.

Bronvermelding illustraties

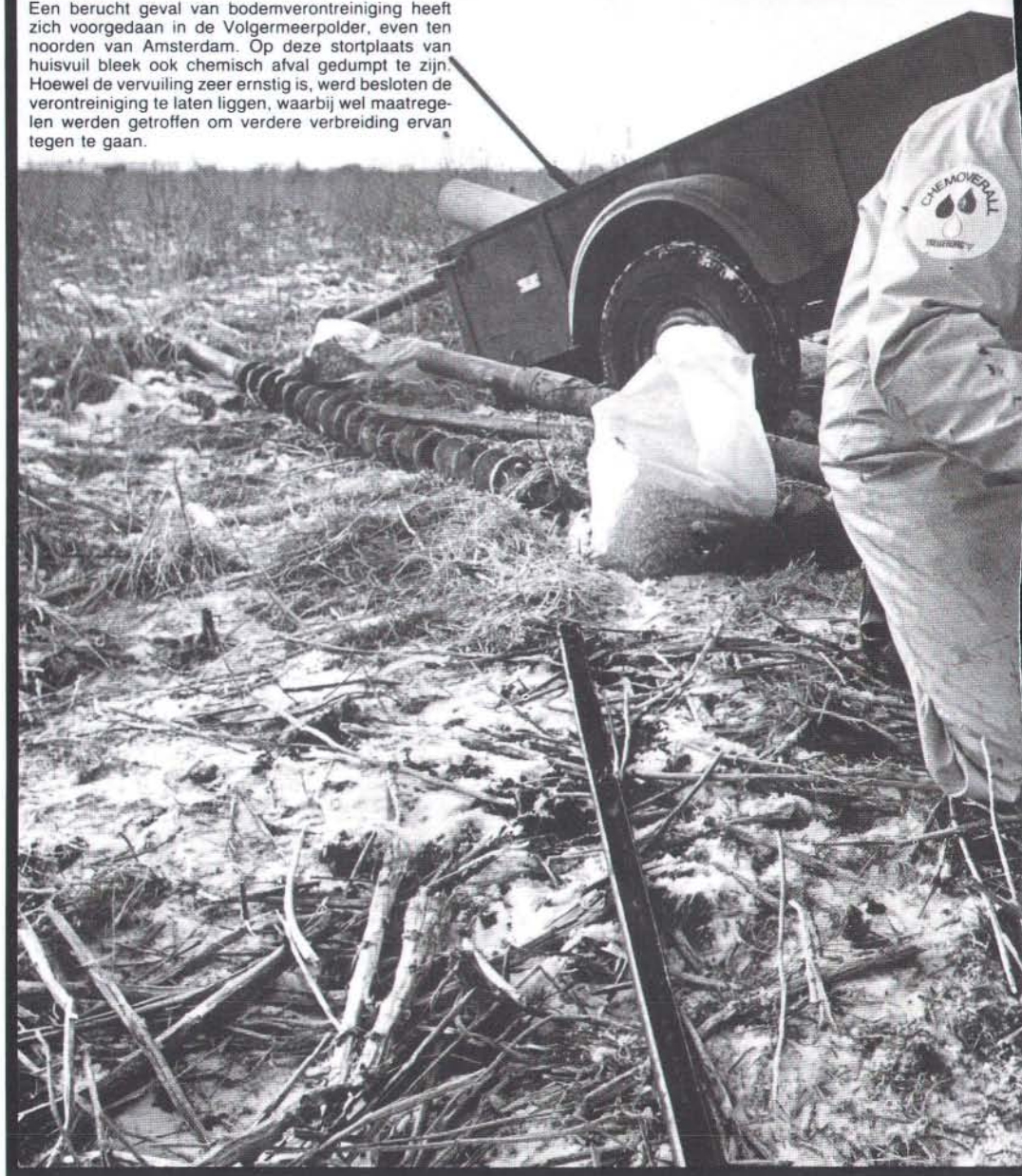
- L. Klein Bog, Hilversum/Instituut voor Antropobiologie, Utrecht; 5, 6.
- Medisch-Wetenschappelijk Instituut, Paramaribo: 1, 3, 4, 9.
- B. Asselbergs, Amsterdam: 11.
- Overige opnamen zijn afkomstig van de auteurs.

W.J. van den Brink

TNO

's-Gravenhage

Een berucht geval van bodemverontreiniging heeft zich voorgedaan in de Volgermeerpolder, even ten noorden van Amsterdam. Op deze stortplaats van huisvuil bleek ook chemisch afval gedumpt te zijn. Hoewel de vervuiling zeer ernstig is, werd besloten de verontreiniging te laten liggen, waarbij wel maatregelen werden getroffen om verdere verbreiding ervan tegen te gaan.





BODEMSANERING

OPRUIMEN VAN EEN ERFENIS

Voor de meeste Nederlanders begon het in 1980 in Lekkerkerk. Daar werd het eerste echt grote geval van bodemverontreiniging aan het licht gebracht. Inmiddels is van enkele duizenden terreinen bekend dat ze vervuild zijn. De noodzakelijke maatregelen kosten miljarden. Bodemverontreinigingen doen zich in een groot aantal vormen voor. Dat schept problemen als het er om gaat te beoordelen hoe ernstig de vervuiling in een bepaald geval is en wat de meest geëigende maatregelen zijn om er het hoofd aan te bieden.

De aantasting van het leefmilieu is vrijwel dagelijks in het nieuws. Soms gaat het om spectaculaire ongelukken als in Tsjernobyl, soms om rampjes die op z'n hoogst de lokale pers halen. De verontreiniging van de bodem en het zich daarin bevindende grondwater neemt sinds enkele jaren een prominente plaats in in het nieuws. De eerste gevallen van bodemverontreiniging in Nederland werden pas in de jaren zeventig bekend. Dat de bodemvervuiling relatief laat in de aandacht kwam, komt ongetwijfeld doordat de bodem tamelijk ontoegankelijk voor de menselijke waarneming is; vervuiling van lucht of oppervlaktewater is veel gemakkelijker te zien en/of te ruiken. Bovendien werd de bodem veelal als een vrij inert medium beschouwd: afval dat daarin werd opgeslagen, zou geen kwaad kunnen. Inmiddels weten we wel beter en kunnen we niet meer 'de kop in het zand steken' voor de grote risico's die dit milieuprobleem met zich mee kan brengen.

De bodemverontreiniging in Nederland werd pas echt in z'n volle omvang duidelijk nadat in 1980 werd vastgesteld dat de bodem onder een nieuwbouwwijk in Lekkerkerk-West zwaar was verontreinigd met benzeen, xyleen en toluen. De situatie werd dermate ernstig geacht, dat de bewoners tijdelijk elders werden gehuisvest, waarna de grond onder de huizen werd weggegraven en schone grond werd ingebracht. De gehele operatie kostte al met al ongeveer 170 miljoen gulden. Tegenwoordig is men het erover eens dat zo'n dure oplossing niet strikt nodig was. Men werd toen met een relatief nieuw probleem geconfronteerd zodat men niet op bestaande kennis en technieken kon terugvallen. Bovendien dacht men dat er wel méér, maar zeker niet erg veel vervuilde terreinen zouden zijn, zodat de totale kosten om heel Nederland 'schoon' te krijgen zouden meevallen. Uit een inventarisatie waarvan de resultaten begin 1981 bekend werden, bleek echter dat er in Nederland niet minder dan 4361 verontreinigde lokaties waren. Inmiddels zijn er nog talloze andere lokaties aan de lijst toegevoegd: men gaat er thans van uit dat er meer dan 7500 zijn, waarvan er zeker 1600 moeten worden gesaneerd. Al deze gevallen betreffen zogenaamde lokale verontreinigingen, oftewel plaatsen waar de verontreiniging op een beperkt oppervlak is geconcentreerd, zoals bijvoorbeeld oude stortplaatsen van huishoudelijk en/of chemisch afval,

1, 2. Bij bodemverontreiniging denkt men meestal aan afzonderlijke lokaties die vervuild zijn (2). Een andere vorm is echter de zogenaamde diffuse verontreiniging, die veroorzaakt wordt door stoffen die over grote oppervlakten verspreid zijn. Voorbeelden zijn bodemaantastingen als gevolg van overbemesting (1), uitstoot van de industrie en zure neerslag.



(voormalige) fabrieksterreinen, met verontreinigd materiaal opgehoogde terreinen en dergelijke. In feite is dit dus een erfenis uit het verleden. Ook in België is een aantal lokaal vervuilde terreinen opgespoord. In het algemeen zouden deze echter geen gevaar voor de volksgezondheid opleveren.

Naast deze lokaal begrensde verontreinigingen bestaan er ook nog anderen vormen van bodemverontreiniging, namelijk de zogeheten diffuse verontreiniging en de vervuiling van onderwaterbodems.

Bij de diffuse verontreiniging gaat het om verontreinigende stoffen die over een veel groter gebied, doch in lagere concentraties de bodem aantasten, zoals de verontreiniging door 'zure regen' en luchtverontreiniging in het algemeen, de gevolgen van overbemesting, het overvloedig gebruik van landbouwbestrijdingsmiddelen en bijvoorbeeld ook de cadmiumverontreiniging in de Kempen door de plaatselijke zinkindustrie. Deze diffuse verontreiniging vormt niet alleen een direct probleem (bijvoorbeeld de bedreiging of aantasting van drinkwaterbronnen), doch zal als er niets tegen gedaan wordt, ook op langere termijn een ernstige uitwerking op de bodem en de bodemvruchtbaarheid hebben.

Aan het probleem van de verontreiniging van onderwaterbodems wordt steeds meer aandacht besteed. De havens in het mondings-



2

gebied van de grote rivieren moeten regelmatig worden uitgebaggerd om ze op de vereiste diepte te houden. Het slib dat daarbij 'boven water' komt, bevat vaak hoge concentraties aan schadelijke verbindingen die door de stroomopwaarts gelegen fabrieken als afvalprodukt geloosd worden. Uiteindelijk bezinken ze in de benedenloop.

In dit artikel beperken we ons echter tot de haast 'klassieke' vorm van bodemverontreiniging: de lokale, qua oppervlak begrensde verontreiniging van het bodemcompartiment. Het zal duidelijk zijn dat dit type verontreiniging een andere aanpak vereist dan de diffuse verontreiniging en het baggerslibprobleem: beide laatste moeten in feite bij de bron, de uitstoot van de schadelijke stoffen, worden bestreden. De lokale verontreinigingen daarentegen zijn, zoals gezegd, erfenissen van het verleden, waarbij het probleem een specifieke lokatie betreft. De verspreiding van de verontreiniging is hier vaak beperkt, al kan het grondwater als transportmedium fungeren. Het voorkómen van de aantasting van het grondwater is dan ook vaak de eerste zorg.

Monstername en karakterisering

Wanneer men van een bepaald terrein weet of vermoedt dat het vervuild is, is het in de eerste plaats zaak ervoor te zorgen een precies beeld

van de vervuiling te krijgen. Er moeten grondmonsters genomen worden die chemisch moeten worden geanalyseerd.

Het opsporen van bodemverontreiniging vereist een goede monstername; wáár monsters moeten worden genomen is ondermeer afhankelijk van het (vroegere) gebruik van het terrein in kwestie. Gegevens daarover kunnen worden verzameld via oude bouwtekeningen, kadastrale gegevens, (vroegere) werknemers enzovoorts. De geologische omstandigheden — waar wordt eventueel het grondwater bedreigd? — kunnen eveneens medebepalend zijn bij de vaststelling van de plaats waar moet worden bemonsterd. De Dienst Grondwaterverkenning TNO (DGV-TNO) in Delft kan met behulp van geavanceerde technieken, zoals geofysische boorgatmetingen, de opbouw van de ondergrond en het verloop van de verontreiniging in de diepere bodemlagen vaststellen.

Monsters kunnen gericht op bepaalde, verdachte plaatsen worden genomen of juist 'at random' oftewel willekeurig over het terrein verspreid. Op zichzelf is het nemen van monsters eenvoudig; het geschiedt met een grondboor wanneer weinig materiaal hoeft te worden verzameld en met een graafmachine wanneer het om grotere hoeveelheden gaat. In het laatste geval wordt de geologische structuur van het monster minder verstoord. Prin-

Verontreiniging	Grondsoort			
	Zanderig	Klei en veen	Overige	Totaal
Aromaten	4%	2%	1%	7%
Polycyclische aromaten	4%	11%	2%	18%
Cyaniden	3%	3%	1%	7%
Zware metalen	12%	27%	14%	53%
Niet-vluchtige gehalogeneerde koolwaterstoffen	1%	1%	13%	13%
Vluchtige gehalogeneerde koolwaterstoffen	1%	1%		2%
Overige	1%			1%

3

cipieel zouden de monsters door of onder toezicht van een onafhankelijke persoon moeten worden genomen. Dit voorkomt een bewuste of onbewuste selectieve monsternamen.

Analyse van de verzamelde bodem- en soms ook grondwatermonsters in het laboratorium leidt tot een opgave van de concentraties waarin bepaalde stoffen aanwezig zijn. Voor de chemische analyse heeft TNO een matrix-analyse-systematiek ontwikkeld. Daarbij wordt stap voor stap nagegaan welke verbindingen of elementen er in de monsters aanwezig zijn. Bij deze methode wordt onder andere gezocht naar bepaalde toxische metalen (kwik, seleen, cadmium, lood, chroom en arseen) en naar specifieke groepen verbindingen, zoals gechloreerde koolwaterstoffen, afvalproducten uit de verfindustrie, bestrijdingsmiddelen en dergelijke. Zijn er aanwijzingen voor de aanwezigheid van verbindingen als dioxinen of dibenzofuranen, dan wordt daar gericht verder naar gezocht, aangezien deze verbindingen bijzonder toxisch zijn. Het zoeken naar bepaalde verbindingen met behulp van deze matrix-analyse kan al bij voorbaat worden beperkt tot bepaalde categorieën indien bekend is welk fabricageproces vroeger op het betreffende terrein heeft plaats gehad; men weet dan waar men naar moet zoeken.

Op basis van de in de monsters vastgestelde concentraties aan elementen en verbindingen kan worden vastgesteld of de aanwezige stof, de (voorgenomen) gebruiksbestemming van het terrein in aanmerking nemend, ook een verontreinigende stof is. Een verbinding geldt namelijk pas als een verontreiniging wanneer

4

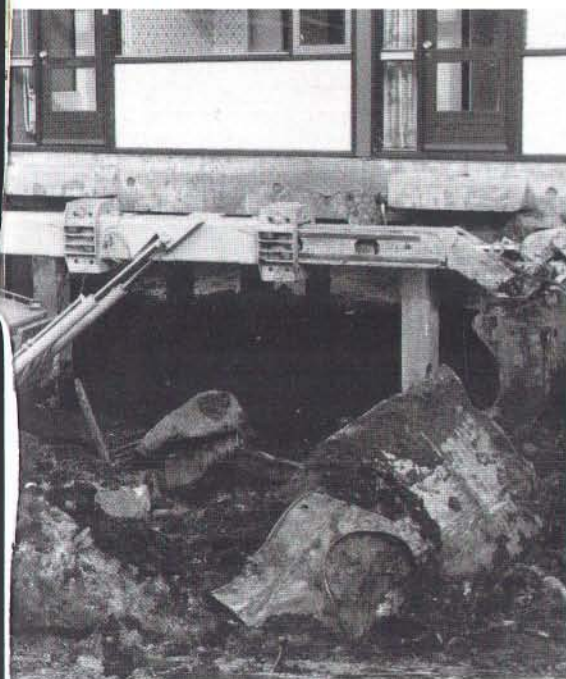


de concentratie daarvan zodanig is dat de natuurlijke functies en/of de (voorgenomen) gebruiksbestemmingen van het terrein in kwestie door de aanwezigheid ervan worden bedreigd. Een stof in de bodem is dus niet al per definitie een gif. Dat is afhankelijk van de concentratie, het bodemtype en het voorgenomen gebruiksdoel.

Het Ministerie van Milieubeheer heeft voor

3. Dit schema geeft een overzicht van de aard van de aangetroffen bodemverontreinigingen, ingedeeld naar de grondsoort. De lichtgekleurde zone geeft aan welk deel van de verontreiniging reinigbaar is. Dat is ongeveer 40% van het totaal. Potentieel reinigbare verontreinigingen (ca. 45%) zijn met de donkere kleur aangegeven. De grijze zone duidt op verontreinigingen die niet reinigbaar zijn.

4. Door Lekkerkerk werd de publieke opinie wakker geschud. De verontreiniging van de grond waarop de wijk Lekkerkerk-West was gebouwd werd zo ernstig geacht dat de grond onder de huizen werd weggegraven en werd vervangen door schone grond. Bij het graven kwam menig gebutst vat aan de oppervlakte.



een groot aantal verbindingen een toetsingskader uitgewerkt, waarin voor al deze verbinden in grond, slib en water zogeheten referentiewaarden worden aangegeven. Een A-waarde geeft een 'natuurlijke' niet-verontreinigde situatie weer; wanneer een aangetroffen concentratie boven de B-waarde uitkomt, is dat het signaal om een nader onderzoek in te stellen (bijvoorbeeld naar de eventuele verspreiding

van de stof); een concentratie boven de C-waarde tenslotte is aanleiding om op korte termijn te onderzoeken op welke wijze een sanering het beste kan worden uitgevoerd. Het toetsingskader is natuurlijk een nogal globale benadering waarbij geen rekening wordt gehouden met cumulatieve effecten, mogelijke verschillen in opnameroutes van schadelijke verbindingen en dergelijke. Het toetsingskader is op z'n hoogst een snelle indicatie voor de mogelijke ernst van een verontreiniging.

Van belang is overigens niet alleen de aanwezigheid van een verontreinigende stof in de bodem, doch ook wat er daar met die verbinding kan gebeuren. Een vraag die moet worden beantwoord is bijvoorbeeld of, en zo ja hoe snel, stoffen in de bodem worden afgebroken, hoe snel ze het grondwater zouden kunnen bereiken en hoe het met de biologische beschikbaarheid is gesteld, dat wil zeggen in hoeverre de verbinding in kwestie door planten en/of dieren in hun stofwisseling kan worden opgenomen en wat er dan mee gebeurt. TNO onderzoekt de lotgevallen van stoffen in de bodem onder meer met behulp van wormen.

Verontreinigingen opruimen

Wanneer in een bepaalde bodem een verontreiniging is aangetroffen, dan kan in principe op verschillende manieren te werk worden gegaan. Om te beginnen moet worden beslist of het noodzakelijk is de verontreinigende stoffen te verwijderen, of dat het mogelijk is de verbindingen in kwestie (vooralsnog!) ter plaatse te laten. Daarbij moet uiteraard worden gewaarborgd dat ze hun schadelijke werking op de omgeving niet kunnen uitoefenen. Men kan voor deze laatste oplossing kiezen wanneer de verontreiniging geen gevaar oplevert voor mens en/of milieu of wanneer de concentraties zo laag zijn dat ze met de thans beschikbare technieken niet kunnen worden verwijderd. Bovendien leveren lage concentraties doorgaans weinig risico's op.

Wordt besloten de stoffen te laten zitten, dan kan worden bevorderd dat ze de omgeving zo weinig mogelijk beïnvloeden door ze als het ware vast te leggen (*immobiliseren*). Men kan ze bijvoorbeeld met behulp van andere chemicaliën binden en zo onschadelijk maken. Eén van de bezwaren tegen immobilisatie is evenwel dat aan de toch al zwaar belaste grond nog

meer chemicaliën worden toegevoegd. Immobilisatie kan echter ook geschieden met behulp van fysische methoden, waarbij men de waterdoorlatendheid van de grond verlaagt.

Een andere mogelijkheid is het van de omgeving isoleren van de verontreiniging met behulp van damwanden die rond de verontreiniging in de bodem worden aangebracht. Als 'bodem' van deze 'put' fungeert dan bijvoorbeeld een weinig-doorlatende kleilaag. Een principieel nadeel van zowel immobilisatie als isolatie is dat de verontreinigende stoffen in de grond aanwezig blijven. Isolatie kan echter ook een hulpmiddel bij de sanering zijn: de 'put' fungeert dan als de 'werkplaats' voor de reinigingswerkzaamheden, zonder dat de verontreiniging zich intussen naar de niet-vervuilde omgeving kan uitbreiden. Daarom worden ook wel damwanden aangelegd als is besloten de verontreiniging uit de grond te verwijderen.

Saneringstechnieken

Voor het schoonmaken van verontreinigde grond zijn in Nederland inmiddels verschillende saneringsmethoden en -technieken ontwikkeld. Op basis van het werkingsprincipe kunnen hierbij vier verschillende typen reiniging worden onderscheiden.

Extractie

Dit houdt in dat de grond intensief wordt gespoeld met water waaraan zuur, loog of oppervlakte-actieve stoffen ('zeep') zijn toegevoegd. Het extractiemiddel verbreekt de verbindingen tussen de verontreinigingen (zware metalen, cyaniden en koolwaterstoffen) en de bodemdeeltjes. Het raakt hierdoor verontreinigd, zodat extractiemiddel en verontreiniging weer van elkaar moeten worden gescheiden, alvorens het extractiemiddel opnieuw kan worden gebruikt. Men houdt dan een sterk verontreinigd slib over; de verontreiniging als zodanig is dus nog niet weg, maar is in elk geval sterk geconcentreerd, daardoor beter hanteerbaar en tenminste niet meer in de bodem aanwezig. Voorbeelden van extractieve bodemreiniging vormen de door TNO ontwikkelde technieken voor het reinigen van met broom vervuilde zandgrond.

Alleen water komt eraan te pas bij het onder hoge druk wassen van de grond. Hierbij worden de te reinigen bodemdeeltjes dank zij de in



5



6

de installatie gecreëerde onderdruk door het snijpunt van een aantal op één punt geconcentreerde waterstralen gevoerd. De kracht van deze stralen is dermate groot dat alle verontreinigingen als het ware van de bodemdeeltjes worden afgeschoten. Het water wordt door het achter het snijpunt optredende drukverschil in



7

een groot aantal zeer kleine waterdruppeltjes uiteengeslagen, waardoor de vluchtige componenten uit de waterfase in de luchtfase terecht komen. Vervolgens worden het met nog andere componenten vervuilde proceswater en de luchtstroom met conventionele technieken gezuiverd.

5. Bodemsanering is duur, vooral als de maatregelen zo ver gaan dat op gif gebouwde woonwijken gesloopt moeten worden. De regering schat dat voor de sanering drie miljard gulden nodig is, milieuorganisaties houden het op tien miljard. Per jaar is echter maar 200 miljoen beschikbaar. Toch hebben de provincies, die de sanering uitvoeren, moeite om dit bedrag op te maken.

6. Een veel toegepaste isolatietechniek bij bodemsanering is het 'inpakken' van de vervuilde grond in kunststof folies. Daardoor wordt voorkomen dat de vervuiling weglekt naar het grondwater.

7. Een deel van een mobiele schuimscheidingsinstallatie. Aan de vervuilde grond wordt water toegevoegd en, na zeping, oppervlakteactieve stoffen (zepen). Vervolgens wordt lucht door het mengsel geblazen en hechten zich de vervuilingen aan de luchtbelletjes, die als schuim aan de oppervlakte komen en afgeschept kunnen worden.

Thermische reiniging

Hieronder vallen verschillende procédés: het uitdampen van de verontreiniging met behulp van een hete gasstroom die de verontreiniging meeneemt en zonodig naar een naverbrander afvoert, waar de schadelijke dampen vrijwel volledig in onschadelijke gassen worden omge-



8

8, 9. Thermische reiniging van vervuilde grond kan op verschillende manieren gebeuren. Afbeelding 8 toont een installatie bij Utrecht waarin vervuilde grond uitgegloeid wordt. Deze behandeling kan in principe *on site* plaatsvinden. Thermische reiniging is echter ook *in situ* mogelijk, zoals bij het stoomstripprocédé (9). Bij het stoomstrippen worden verontreinigingen door middel van stoom van de grond gestript en tegelijkertijd verdampst. De gassen worden dan uit de grond gezogen en naar condensoren gevoerd, waar ze weer vloeibaar gemaakt worden. Via een gesloten waterzuiveringsstelsel worden de verontreinigingen in geconcentreerde vorm afgescheiden. Het systeem is met name geschikt voor de verwijdering van betrekkelijke vluchtige organische stoffen.

zet; het uitdampen middels indirecte warmteoverdracht met behulp van een warmtewisselaar en het 'verbranden' van de grond in een al dan niet roterende oven bij temperaturen van 700 tot 1200°C. Bij het zogeheten *stoomstrippen* wordt in plaats van met gas met stoom uitgedampst; de uittredende gasstroom (stoom plus verontreiniging) wordt vervolgens gecondenseerd, waarna de verontreinigingen uit het condensaat worden verwijderd met behulp van verschillende afvalwaterbehandelingstechnieken. Stoomstrippen leent zich met name voor de verwijdering van organische stoffen met een relatief hoge vluchtigheid zoals per- en trichlooretheleen.

Chemische reiniging

In enkele gevallen is het mogelijk de verontreiniging te laten reageren met andere chemicaliën, zoals chloor, zuren, logen en dergelijke. Dan moet het gevormde reactieproduct wel minder schadelijk zijn voor het milieu.

Een nadeel van deze methode is, dat de grond na het proces biologisch gezien volledig dood is. In hoeverre dit acceptabel is, hangt af van het voorgenomen gebruiksdoel van de 'gereinigde' grond.

Microbiologische reiniging

Hierbij wordt gebruik gemaakt van micro-organismen die organische stoffen zoals benzeen, toluen, xyleen, fenol, cyaniden en dergelijke 'opeten' en afbreken tot onschuldige verbindingen. Uit TNO-onderzoek is inmiddels gebleken dat deze methode goede perspectieven biedt voor het uit de grond verwijderen van afbreekbare koolwaterstoffen.

Zo nodig kunnen bij deze *biodegradatie* de omstandigheden voor de bacteriën gunstiger worden gemaakt door de toevoer van zuurstof (door de grond te ploegen), water of voor micro-organismen belangrijke voedingsstoffen als fosfor en stikstof. De microbiële bodemreiniging, ook wel aangeduid als *landfarming*

en in het geval van olieverontreiniging als *oil-farming*, is vaak niet zo snel, maar wel relatief goedkoop, terwijl de methode als groot voordeel heeft dat de natuurlijke bodemvruchtbaarheid gehandhaafd blijft.

Nog niet alle hier genoemde saneringsmethoden werken al geheel volgens verwachting; verschillende installaties verkeren nog in een min of meer experimenteel stadium.

Waar reinigen?

Al naar gelang de plaats waar het saneringsproces plaats vindt, kan onderscheid worden gemaakt tussen:

- a. afgraven van de grond en behandeling daarvan (of stort!) elders;
- b. reiniging van de grond op de betreffende lokatie (*on site*), waarna de gereinigde grond meestal weer teruggestort wordt;
- c. behandeling *in situ*, waarbij de verontreinigde grond blijft liggen en de saneringsmethode als het ware naar de bodem toekomt.

Het zal duidelijk zijn dat niet iedere saneringstechniek zich voor elk van deze mogelijkheden leent. De keuze van de behandelingsmethode is afhankelijk van allerlei factoren, zoals

verplaatsbaarheid van de reinigingsinstallatie, de terreingesteldheid, transportmogelijkheden, vergunningen en dergelijke.

Capaciteit

Er zijn zoals gezegd duizenden verontreinigde of op z'n minst verdachte lokaties. Een flink aantal daarvan is inmiddels reeds aan een onderzoek onderworpen en in een reeks gevallen heeft intussen sanering plaats gevonden. In totaal gaat het in Nederland om zo'n $13,1 \cdot 10^6$ m³ verontreinigde grond, die overigens slechts voor een deel zal worden gereinigd.

De beschikbare reinigingscapaciteit is niet onaanzienlijk. Volgens opgave van de Nederlandse Vereniging van Procesmatige Grondreinigingsbedrijven (NVPB), waarin tien firma's die op dit terrein actief zijn samenwerken, bedraagt die thans in totaal zo'n 500 000 ton op jaarbasis. Ter vergelijking: in 1985 werd 50 000 ton gereinigd, in 1986 300 000 ton.

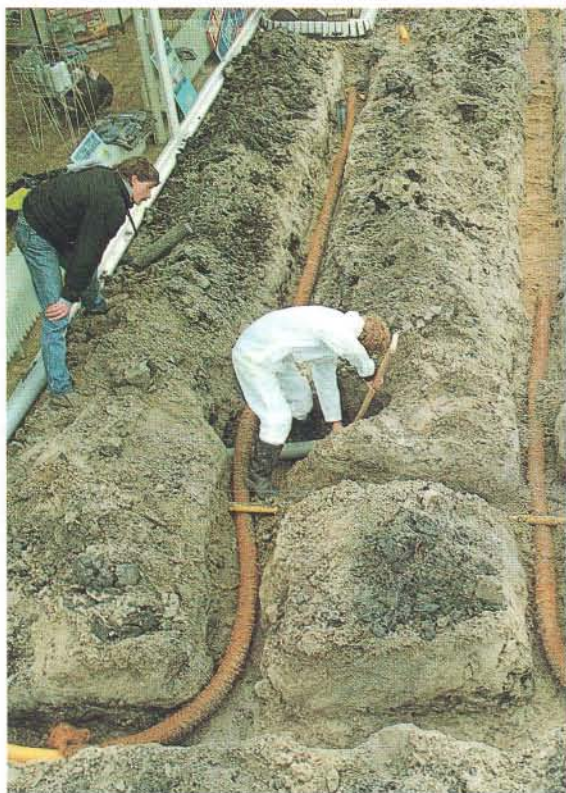
Met de thans operationele installaties kan circa 40% van de verontreinigde grond worden gereinigd (zie *Intermezzo*). Ongeveer 20% is potentieel reinigbaar, dat wil zeggen na aanpassing of uitbreiding van de bestaande installaties. Geschat wordt dat 25% partieel kan



worden gereinigd, terwijl voor de resterende 15% nog geen oplossing beschikbaar is; stort elders is dan vooralsnog de enige oplossing.

De Nederlandse bodemsaneringsbedrijven hebben met elkaar inmiddels zo'n 100 miljoen gulden in ontwikkelingskosten gestoken. Jaarlijks komt daar per bedrijf nog een fors bedrag bij, veelal meer dan een ton, voor onderzoek ter optimalisatie van bepaalde processen.

Toch draait 'de grote schoonmaak van Nederland' nog niet echt op volle toeren. Daarvoor zijn, naast het van kracht zijn van de Wet van Hofstadter ('Het duurt altijd langer dan je denkt, zelfs al neem je de Wet van Hofstadter in aanmerking'), een aantal oorzaken aan te wijzen. Om te beginnen is een aantal technologische problemen nog niet opgelost. Zo blijken veen- en kleiachtige gronden veel moeilijker te reinigen te zijn dan zandgrond, doordat colloïdale gronddeeltjes vrij gemakkelijk in de gebruikte reinigingsvloei stof terecht komen. Bovendien worden de onderzoekers niet alleen met verschillende bodemtypen geconfronteerd, doch ook nog eens met een groot scala aan verontreinigende verbindingen die elk hun specifieke chemische eigenschappen hebben en die dan ook evenzovele technieken vereisen. Alleen al op grond hiervan is duidelijk dat nog



11

10





10. Microbiologische reiniging kan al dan niet *in situ* plaatsvinden. Een systeem is om de grond vermengd met mest of zuiveringsslib in een kas te brengen, waarvan de bodem bestaat uit een vloeistofdichte folie. Als de zon schijnt kan de temperatuur in de kas tot 35°C oplopen. Over de te reinigen grond wordt water verneveld waarin de door bacteriën in mest en slib afgebroken resten opgelost worden. Het water wordt vervolgens via een drainagesysteem afgevoerd. Doordat de grond continu belucht wordt kan zo een laag van 1 m dikke aëroob gereinigd worden.

11, 12. *In situ* reiniging langs microbiologische weg is mogelijk door via een ondergronds buizenstelsel (11) verontreinigd water op te pompen. Het buizenstelsel is aangesloten op een container waar het water wordt gereinigd en geactiveerd met zuurstof, voedingsstoffen en micro-organismen (12) en vervolgens wordt gerecirculeerd. Door de recirculatie van dit gezuiverde en geactiveerde water ontstaat in de bodem een opleving van het microleven, waardoor de aanwezige verontreiniging wordt afgebroken. Microbiologische reinigingstechnieken zijn in principe geschikt voor alle biologisch afbreekbare verontreinigingen.

12



niet in alle situaties een pasklaar antwoord beschikbaar kan zijn.

Bovendien functioneren nog niet alle installaties voortdurend optimaal; dit is begrijpelijk aangezien het ook hierbij veelal om nieuw-ontwikkelde technologieën gaat waarmee nog weinig praktische ervaring bestaat. Voor de overheid is dit soms een argument om vervuilde grond dan maar op een zogeheten TOP (Tijdelijke Opslag Plaats) op te slaan, wat in eerste instantie, doch niet op termijn, goedkoper is dan reiniging. Ook bestaat de indruk dat de overheid wel eens de neiging heeft om de kleinere, niet al te ingewikkelde en dus veelal ook niet al te kostbare saneringen het eerst aan te pakken en het oplossen van de grote, gecompliceerde problemen naar de toekomst te verschuiven. De prioriteitstelling is dus nog voor verbetering vatbaar.

Ook in ander opzicht ervaren saneringsbedrijven de rol van de overheid soms eerder als een belemmering om tot reiniging over te gaan. De beslissingsprocedures komen vaak uiterst moeizaam tot stand. Voor vaste (niet-mobiele) reinigingsinstallaties is het soms een zeer gecompliceerde zaak om de vereiste vergunningen te verkrijgen om de vervuilde grond over de provinciale grenzen heen te vervoeren. Ook de acceptatie van saneringsmaatregelen door omwonenden kan een factor zijn, bijvoorbeeld wanneer de reiniging gepaard gaat met stank-, lawaai- of visuele overlast.

Soms is het een probleem wat er met de gereinigde grond moet gebeuren. Als de grond geheel 'schoon' is, dan zijn daarvoor natuurlijk in principe allerlei bestemmingen te vinden. De kostprijs ervan is echter ten gevolge van de uitgevoerde sanering gewoonlijk niet meer concurrerend. Gedeeltelijk gereinigde grond is ook moeilijk af te zetten. Eén en ander hangt samen met het feit dat er geen eenduidige criteria bestaan voor wat als 'schoon' en wat als 'niet schoon' moet worden beschouwd. Het feit dat de grens tussen 'schoon' en 'niet schoon' niet duidelijk kan worden getrokken, maakt een eenduidig saneringsbeleid moeilijk te realiseren: naast een aantal gevallen waarin het overduidelijk is dat sanering moet plaats vinden, zijn er ook situaties waarbij niet zonder meer kan worden besloten of de vervuiling al wel moet worden aangepakt of (nog) niet. Het beschikbare geld zal bij dergelijke beslissingen dan ook vaak de doorslag geven.

De grootste stortplaats van Europa

Even ten zuiden van de Westduitse stad Hamburg, vlak langs de Autobahn Hamburg-Hannover, verheft zich een 44 meter hoge heuvel in het verder vlakke landschap: de voormalige vuilstortplaats (Deponie) Georgswerder. Vanaf de opening van deze belt in 1948 tot in 1967 werd hier uitsluitend huishoudelijk afval en puin gestort, doch van 1967 tot de sluiting van de Deponie in 1974 werd er ook chemisch afval gebracht. In die periode werd in een tiental bassins die op de belt werden aangelegd in totaal 150 miljoen liter vloeibaar chemisch afval gestort. De inhoud van één van de bassins bestond voor niet minder dan 80% uit chloorbenzol-verbindingen. In drie speciale depots werden bovendien nog ruim 100 000 vaten met chemisch afval opgeborgen. Het staat vast dat veel van dit gevaarlijke afval vanuit de bassins en de vaten inmiddels vrij in de belt is terecht gekomen; de vloeistofspiegel in de Deponie ligt op 14 meter boven het maaiveld.

Omdat na sluiting van de Deponie werd overwogen er een recreatiegebied van te maken, werd in de jaren zeventig een zand- en humuspakket – in dikte variërend van één tot enkele tientallen meters – op de belt aangebracht. Daarnaast werd circa 100 000 m³ water toegevoegd, opdat



de vegetatie beter zou aanslaan. In combinatie met het hemelwater zorgde dit water echter voor uitspoeling van de schadelijke stoffen naar de omgeving van de Deponie. De vegetatie gedijde slecht door de grote hoeveelheden gas die in de belt worden gevormd bij de biologische afbraak van de aanwezige verbindingen. Dit gas wordt nu gewonnen en door een naburige fabriek als energiebron gebruikt. De olie-achtige vloeistof

Export van know-how

In veel landen wordt tot op heden nog relatief weinig aandacht aan de bodemverontreinigingsproblematiek besteed. Zo zijn er in een land als Frankrijk officieel maar circa honderd verontreinigde lokaties, hoewel er recent aanwijzingen zijn dat men ook in dit land het probleem serieuzer gaat nemen. Landen waarin momenteel de bodemverontreiniging en bodemsanering in het middelpunt van de belangstelling staan, zijn naast Nederland (en in mindere mate België) met name West-Duitsland, de Verenigde Staten en Denemarken.

Enerzijds biedt dat interessante kansen voor de export van de door het Nederlandse bedrijfsleven ontwikkelde technologie: hier ontwikkelde reinigingsprocessen en -installaties kunnen ook in het buitenland worden ingezet

of aldaar in licentie worden toegepast. Anderzijds zijn de betrokken firma's ook beducht dat de alhier opgebouwde know-how aan het buitenland wordt 'weggegeven' door de overheid (die de export van milieutechnologie, waaronder bodemsaneringstechnieken, hoog in het vaandel heeft geschreven), TNO en andere instellingen. Met name de Bodembeschermingsreeks, een serie publikaties van het Ministerie van VROM, wordt wat dat betreft als boosdoener gezien.

Gevreesd moet worden dat niet alleen verschillende hoog-geïndustrialiseerde en dichtbevolkte westerse landen die het probleem van de bodemverontreiniging thans nog niet onderkennen, vroeger of later toch met een ernstig milieuprobleem zullen worden geconfronteerd. Dat zal te zijner tijd zeker ook in verscheidene ontwikkelingslanden het geval zijn,



1. Een luchtopname van de Deponie Georgswerder met links, aan de overkant van de snelweg, de fabriek die het in de belt gevormde biogas als energiebron gebruikt. De witte lijnen zijn zandbanen waarin de buizen liggen waarmee het gas gewonnen wordt. Op de achtergrond links is de Elbe net zichtbaar.

die in de onderste 14 meter hier en daar vrij uit de Deponie naar buiten komt, wordt zeer zorgvuldig opgevangen, vooral sinds hierin in 1983 voor het eerst het beruchte dioxine (2,3,7,8-TCDD) werd aangetroffen.

De sanering van de Deponie Georgswerder is thans in volle gang. In eerste instantie wordt het bovenste gedeelte van de belt afgedekt met een uit meerdere lagen bestaande afdekking. De ge-

dachte hierachter is dat indien er aan de bovenzijde geen regenwater meer in de belt komt, er ook aan de onderzijde (richting grondwater) niets meer uit kan lopen. Naar schatting bevindt zich momenteel nog zo'n 10^6 m³ vloeibaar chemisch afval plus verontreinigd regenwater vrij in de belt. Op een aantal plaatsen in deze deklaag zijn speciale 'proefvelden' aangelegd waar afdekkingen van verschillende samenstelling in de praktijk worden getest, zowel ten behoeve van de afdekking van de lager gelegen en steilere gedeelten van de Deponie, als ten behoeve van de afdekking van voormalige stortplaatsen elders in de Bondsrepubliek.

Uiteraard is de afdekking van de Deponie maar één aspect van de totale saneringsoperatie; het zou te ver voeren om hier op alle andere onderdelen van de in totaal een kleine 100 miljoen DM vergende sanering van deze grootste vuilstort van Europa in te gaan.

De Deponie Georgswerder zal van 11 t/m 15 april 1988 letterlijk en figuurlijk het hoogtepunt vormen van de Second International TNO/BMFT Conference on Contaminated Soil, die dan in Hamburg wordt gehouden. Deze conferentie wordt georganiseerd door TNO en de stad Hamburg in samenwerking met het Duitse Ministerie voor Onderzoek en Technologie (BMFT), de Duitse Milieudienst, de Technische Universität Hamburg-Harburg en het Nederlandse Ministerie van VROM.

waar thans zo veel nadruk op economische ontwikkeling wordt gelegd dat daarbij onvoldoende aandacht aan de milieu-aspecten van deze ontwikkelingen wordt besteed.

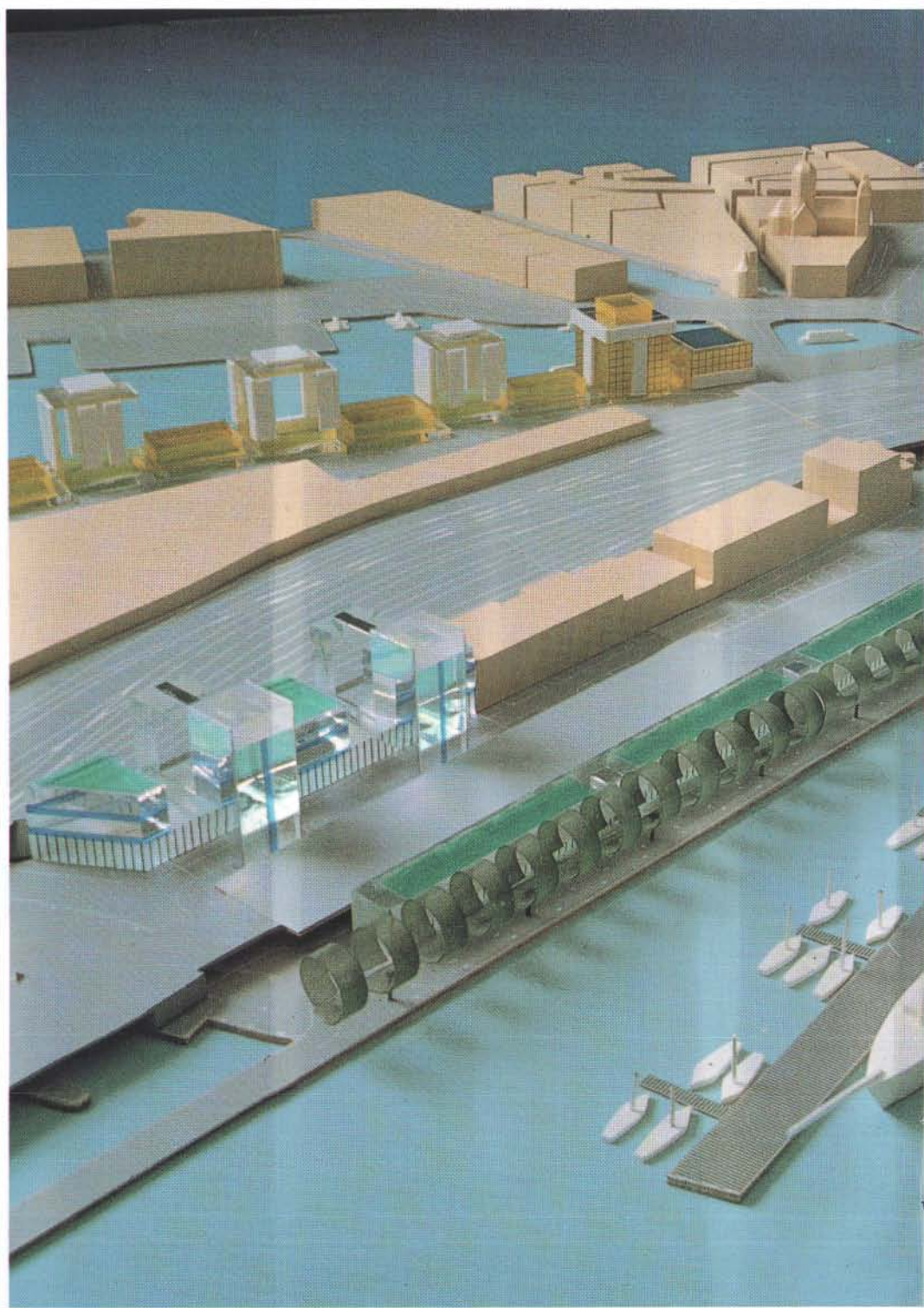
Gezien de voorsprong in kennis en technieken die Nederland inmiddels op het gebied van bodemsanering heeft opgebouwd, liggen hier voor de toekomst wellicht goede mogelijkheden voor de export van deze expertise. Overigens is dat voor de (ex-)bewoners van 'gifwijken' een wel heel schrale troost...

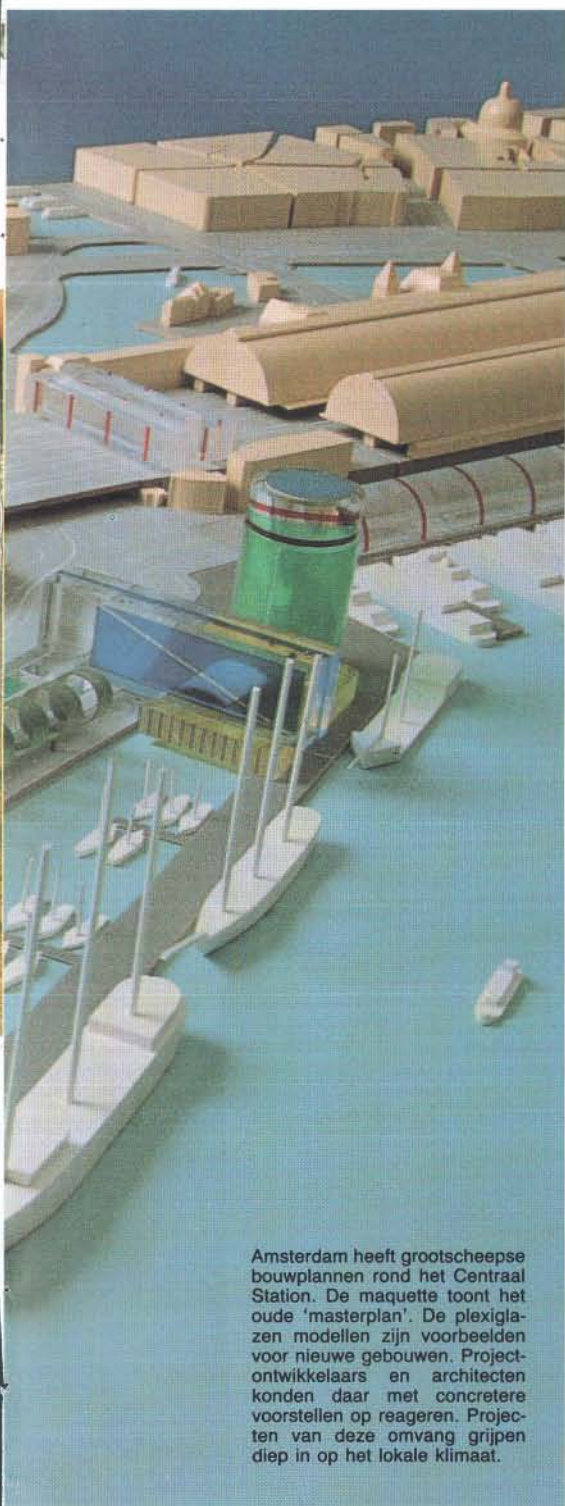
Literatuur

- Assink JW, Van den Brink WJ. Contaminated Soil. Proceedings of the First International TNO Conference on Contaminated Soil. Dordrecht/Boston/Lancaster: Martinus Nijhoff Publishers, 1986.
- Baas LW et al. Wonen op gif. Cahiers Bio-Wetenschappen en Maatschappij 1984; 9; 4.
- Van den Brink WJ. Bodemverontreiniging. Utrecht/Antwerpen: Het Spectrum, Aula Paperback 127, 1985.
- Van den Brink WJ. Gif in de grond. Vragen en antwoorden op een rij gezet door TNO. Drachten/Leeuwarden: Friese Persboekerij, TNO-inforeeks, 1987.
- Buisman R. Bodemsanering leidt nog niet tot schone bodem. Milieu 1987; 1; 19-21.
- Ministerie van VROM. Is onze bodem het kind van de rekening? Voorlichtingsbrochure, 1987.

Bronvermelding illustraties

- Michel Pellanders, Amsterdam: pag. 120-121.
- Michiel Wijnberg, Hollandse Hoogte, Amsterdam: 1.
- Landinrichtingsdienst, Utrecht: 2.
- Geesje van Hemert, Goes: 4, 8.
- ANP-foto: 5.
- Heidemij, 's-Hertogenbosch: 6, 7, 9, 10.
- Maarten Strik, Ecolyse, Groningen: 11, 12.





Amsterdam heeft grootscheepse bouwplannen rond het Centraal Station. De maquette toont het oude 'masterplan'. De plexiglas modellen zijn voorbeelden voor nieuwe gebouwen. Projectontwikkelaars en architecten konden daar met concretere voorstellen op reageren. Projecten van deze omvang grijpen diep in op het lokale klimaat.

HET

STADS

KLIMAAT

J.A. Wisse
*Technische Universiteit
Eindhoven*

Willen wij opgebouwde woonwijken en stadscentra met veel ruimte voor zon, wind, parkeren en verkeer? Willen we enkele hoge gebouwen met allure, die boven het stedelijk dek uitsteken? Of verkiezen we smalle kronkelige straten? Ook een Manhattan-achtige structuur is mogelijk. Onze keuze betekent, bewust of onbewust, ook een keuze voor een klimaatverandering. Het klimaat is niet een gegeven, waarover we alleen maar 'kankeren', want de ontwerpers van de gebouwde omgeving kunnen het natuurlijke klimaat verbeteren of verslechteren.

Het verband tussen klimaat en geometrie van de stad is het onderwerp van dit artikel. Daarbij wordt de mens als norm genomen: hoe de maten van de gebouwde omgeving de kans op comfort, maar ook op gevaar kunnen vergroten en verkleinen.

Het klimaat in de stedelijke ruimte is een sociaal, cultureel en economisch goed. In het onderstaande wordt steeds het natuurkundig klimaat bedoeld. Dat is op veel manieren als 'goed' of 'slecht' te kwalificeren. Is er voldoende zon op straat? Komt er voldoende zon in de woningen? Kan zonne-energie worden toegepast? Is de verspreiding van de luchtverontreiniging van verkeer en plaatselijke schoorstenen voldoende? Is de ruimte akoestisch gunstig? Heeft het verkeer niet overmatig last van neerslag, licht of wind?

In dit artikel is de aandacht vooral gericht op het comfort van de mens die buitenshuis is. Dit comfort houdt verband met de geometrie van de stedelijke ruimte. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om de hoogte van de gebouwen en hun onderlinge afstand.

Opzettelijke klimaatverandering

Het klimaat in de gebouwde omgeving verschilt van dat in het vrije veld. Het verschil wordt veroorzaakt door de gebouwen en de daaromheen aangelegde infrastructuur. Klimaatverandering speelt ook een rol in de traditionele bouwwijze, waarin de ervaring van generaties is verwerkt. Bij een bezoek aan een tussen bomen verscholen hoeve, aan hofjes, grachten en aan schaduwrijke mediterrane straatjes kan men dat ervaren. Het klimaat is er milder dan in het vrije veld in de buurt. Traditionele bouw kan ook tot windhinder leiden, zoals bijvoorbeeld rondom een kathedraal of een kasteel, waar men een groot gebouw de ruimte heeft gegeven. Op die plaatsen heeft grandeur prioriteit gekregen.

Bij het ontwerpen kunnen de architect en de stedebeouwer gebruik maken van een vak, dat de laatste decennia is ontstaan: de stedebouwfysica. De beoefenaren van dit vak bestuderen welke eigenschappen van de gebouwen en de stedelijke ruimte een optimale behaaglijkheid bieden. De stedebouwfysica wordt toegepast bij het ontwerpen, waarbij overigens vele afwegingen moeten worden gemaakt.

Prioriteiten stellen

Kennis van en inzicht in de oorzaken van windhinder zijn beschikbaar, en veel wijken en gebouwen zijn met zorg voor het buitenklimaat ontworpen. Dat is echter lang niet altijd



het geval, kennelijk krijgt de kwaliteit 'klimaat' nogal eens een lage prioriteit. Het volgende voorbeeld laat zien hoe belangrijk de prioriteiten van de opdrachtgever voor het uiteindelijke stadsklimaat zijn.

In Den Haag hebben vijf vermaarde architecten een ontwerp gemaakt voor een nieuw stadhuis annex bibliotheek. Het verslag van de beoordelingscommissie vat het programma van eisen samen: "...het gebouw dient naar de wens van de gemeente internationaal van allure te zijn, fris, vernieuwend, transparant, efficiënt en sober van aard. (...) Belangrijke aandachtspunten zijn verder de bezonning en lichttoetreding van de bestaande woningen aan de Fluwelen Burgwal/Kalvermarkt, de windhinder en de silhouetvorming, ook van grotere



1. Het Haagse stadhuis wordt gebouwd naar een ontwerp van Richard Meier. Zijn ontwerp is gekozen uit vijf inzendingen die van TNO-deskundigen alle vijf een onvoldoende kregen op het punt van de te verwachten windhinder. Dit was het gevolg van de gestelde eisen aan het volume van het gebouw, het beschikbare grondoppervlak en de bestaande en geplande omringende bebouwing. De foto toont het ontwerp van Meier zoals geen burger het ooit zal ervaren. Zonder aanpassingen zal het windklimaat slecht tot matig zijn in de loopgebieden aan de korte zijden van het gebouw en voldoende bij de lange zijden.

2. Bouwkundigen uit Delft en Eindhoven komen tijdens hun studie bijna dagelijks in gebouwen die een schoolvoorbeeld zijn van slechte bouw uit het oogpunt van windhinder. De ingang van Bouwkunde in Delft bijvoorbeeld bevindt zich onder een hoogbouw die gedeeltelijk op palen uitsteekt. De wind kan daar heerlijk langsgieren. Aan de bomen is dit duidelijk te zien. Ze staan er al jaren, maar willen niet groeien.

afstand....” Het is een enorme opgave om met alle eisen tot een ontwerp te komen. Het beschikbare oppervlak noopt tot hoogbouw. Het is de vraag of de eisen, het beschikbare oppervlak en de geometrie van de omgeving een oplossing zonder windhinder mogelijk maken. Alle vijf ontwerpen zijn door deskundigen beoordeeld op windhinder: alle vijf kregen een onvoldoende (afb. 1).

Er zijn verscheidene plannen met grootstedelijke allure in voorbereiding. De toekomstige bebouwing nabij het Centraal Station (afb. pag. 134-135) en het Rotterdamse project Waterstad zijn daar voorbeelden van. Iedereen weet dat het bij bouwwerken, die ruimschoots boven het stedelijk dek uitkomen winderig kan zijn. Speciaal onderdoorgangen en gebouwen ‘op palen’ zijn berucht. In de vakliteratuur staat dit glashelder beschreven. De Stichting Bouw-Research schrijft: “In onderdoorgangen bij hoogbouw kunnen extreem hoge lichtsnelheden optreden (gelijk aan 1,2 maal de lichtsnelheid op gebouwhoogte in de ongestoord aankomende lucht). De enige manier om de hinder, die hier het gevolg van is, te verminderen, is het geheel of nagenoeg geheel afsluiten van de onderdoorgang.” Dit roept dan wel de vraag op of er in een dergelijk geval nog wel van een onderdoorgang kan worden gesproken. Bovenstaande opmerking is ook van toepassing op hoogbouw op palen. De bouwkundige ingenieurs uit Delft en Eindhoven worden opgeleid in gebouwen die hen

2



elke dag de waarheid van het voorafgaande doet voelen (afb. 2). Toch bouwen zij steeds weer onderdoorgangen en kolossen op palen. Waarom? Hun aandacht gaat bij het ontwerpen naar een functioneel, degelijk en/of een mooi gebouw. Hun aandacht kan ook gaan naar de stedelijke ruimte om het gebouw. Dan zijn er nog veel zaken om op te letten. Verkeer, zon en schaduw, geld, het visuele effect van de ruimte, de doorkijkjes en veel meer. Er moet gekozen worden. Met welk beleid?

Het bestuur van een stad dat een stadhuis laat bouwen; een echtpaar dat hun 'droomhuis' bespreekt; de firma die zich presenteert met een nieuw bedrijfspand, zij allen hebben een beeld voor ogen. Dat beeld is meer dan een tekening: het is een wens, een sfeer, een beleid. Over het buitenklimaat zijn de beelden nog niet voldoende duidelijk. Toch moet dat wel voor het stellen van prioriteiten. Voor sommige mensen is dit revolutionair: zij kijken alleen naar het gebouw en niet naar de ruimte. Essentieel is het beeld, dat we het klimaat niet als een gegeven opvatten. Aan het klimaat kan men meer doen dan er op te kankeren. Het stadsklimaat is een bewuste, technologische verbetering van het buitenklimaat. Hoe het

windveld door de gebouwde omgeving kan worden verbeterd en verslechterd, is het onderwerp van de volgende paragrafen.

De wind in het vrije veld

De lucht stroomt over het land en de steden door de gezamenlijke inwerking van verschillen in luchtdruk en de draaiing van de aarde. In de grenslaag komt daar nog de wrijving aan het ruwe aardoppervlak bij (afb. 5). De remmende werking van obstakels veroorzaakt plaatselijke verschillen in windsnelheid. De laag waar de remmende werking zijn invloed doet gelden is soms enkele tientallen meters hoog en soms enkele kilometers. Deze grote variatie in hoogte hangt samen met het weer. We zullen ons hier beperken tot de gemiddelde toestand, waarin de beïnvloede laag ongeveer 1 km dik is. De luchtstroom is in die onderste laag van 1 km hoog niet gelijkmatig, maar wervelend. Het is een turbulente stroming. Aan de rookpluim uit een schoorsteen is dat goed te zien. De rook ondergaat allerlei fluctuaties als gevolg van wisselende winden. We zien in de rookpluim grote en kleine wervels ontstaan.

3. Boerderijen op het plateland worden al eeuwenlang omringd door boomsingels. De bewoners wisten dat ze zo op het erf een aangename klimaat kregen dan in het omringende veld. Ook voorkomt een boomsingel windschade aan gebouwen.

3

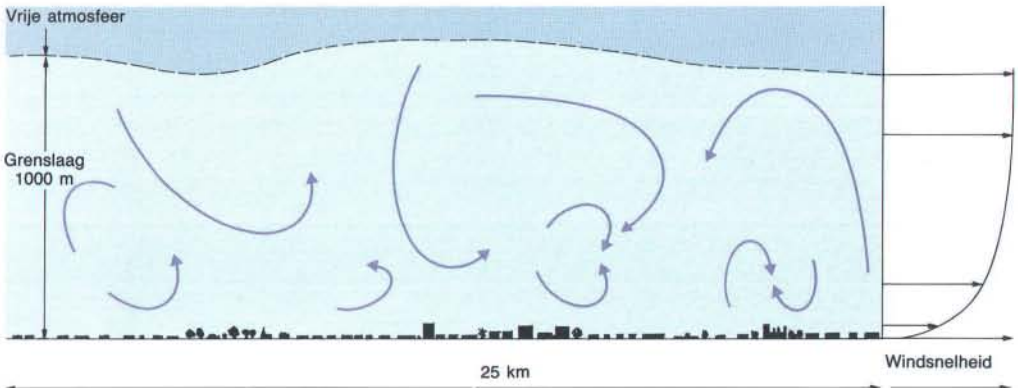




4

4. Een plein in een modern winkelcentrum waar bij de bouw duidelijk rekening is gehouden met de noodzaak van een voor mensen aangename verblijfplaats.

5. De luchtstroom over stad en land bij windkracht 4 of meer. Boven de grenslaag waait de wind ongestoord. In de grenslaag verplaatst de lucht zich al wervelend. De kleinste wervels hebben afmetingen van millimeters, de grootste zijn ongeveer een kilometer groot. De dimensies in hoogte en breedte zijn niet in verhouding. De bebouwing en begroeiing is te hoog. Rechts is het verloop van de windsnelheid met de hoogte geschetst. Voor het klimaat van straten en pleinen is de remming van de wind over de stad van belang, maar ook hoe de hoofdstroom de lucht tussen de gebouwen meeslept.



5

Een belangrijke eigenschap van turbulentie is menging. De wervels roeren de lucht als het ware dooreen en verkleinen zo verschillen in luchtverontreiniging, temperatuur, vochtigheid en ook in windsnelheid. Door de remming van het aardoppervlak neemt de windsnelheid toe met de hoogte. Eenieder, die wel eens een toren beklommen heeft, weet dat. De turbulente wervels mengen lucht en dus ook de lucht met verschillende snelheden. De turbulentie transporteert dus horizontaal gerichte snelheid neerwaarts. De snellere, hogere lagen slepen de lucht op geringere hoogte als het ware mee. Over het algemeen is overdag de turbulentie heviger dan 's nachts. Dat hangt samen met de verwarming door de zon van het oppervlak en met de thermiek die daar het gevolg van is. Doordat de turbulentie overdag heviger is, is het neerwaarts transport van horizontale beweging, en dus het meeslepen, intenser. Dit verklaart waarom het over het algemeen overdag harder waait dan 's nachts. Om meer inzicht te krijgen in de wind in de stad zullen we

nu eerst de begrippen beschutting en comfort preciseren. Vervolgens komen dan de wind boven de stad, de wind in de stad en rond hoogbouw aan de orde.

Een comfortabel klimaat?

Het is zaak het begrip *comfort* meetbaar en berekenbaar te maken. Het is echter nodig eerst het begrip *beschutting* te definiëren. Onder beschutting verstaan we de verhouding tussen de gemiddelde windsnelheid op loophoogte, dat is 1,75 m, en de windsnelheid zoals die door het KNMI gemeten wordt op 10 m boven grasvelden. We zullen deze verhouding aanduiden met γ . Dus als op een groot grasveld de beschutting γ de waarde 0,7 heeft, dan is de windsnelheid op een hoogte van 1,75 m gelijk aan 0,7 maal de wind op 10 m hoogte.

De mens voelt zich natuurkundig gezien comfortabel als de wind niet te grote en niet te snel wisselende krachten op zijn lichaam uitoefent en als de warmte- en vochthuishouding

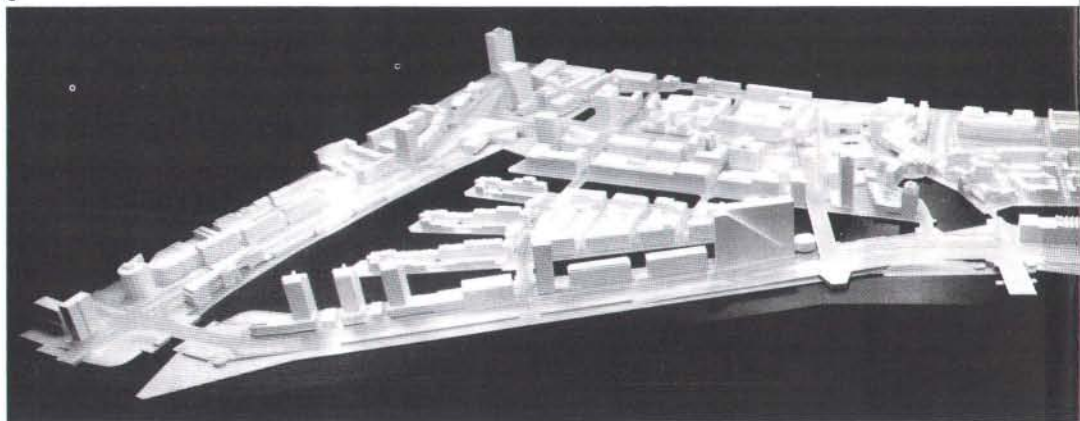
van zijn lichaam aan bepaalde eisen voldoet. Er is dus onderscheid in windhinder en thermisch comfort. Windhinder ontstaat op twee manieren. De wind kan te hard zijn, maar ook te vlagerig. Bij windhinder moet dus rekening gehouden worden met zowel de gemiddelde windsnelheid als met de turbulentie. Er is sprake van windhinder als de luchtstroom qua snelheid en turbulentie overeenkomt met windkracht 4 Beaufort of meer. De hinder begint dus bij wat we een matige wind noemen, waarbij op een groot grasveld bladeren opwarrelen en hinder ondervonden wordt bij het lopen. Op 10 m hoogte waait het dan 5,5 tot $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Het is de opgave van de stedenbouwer en architect om hier verbetering in te brengen door γ en de kans op hinder te verkleinen. Als criterium voor de gevaarsgrens wordt

wel de windsnelheid bij windkracht 9 gebruikt. Er is dan lichte schade aan bossen en gebouwen, schoorsteenkappen en dakpannen worden afgerukt, en er zijn mensen die omwaaien. Bij windkracht 9 is de windsnelheid op 10 m hoogte boven een uitgestrekt grasveld 21 tot $24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. De kans op gevaar is in het vrije veld ($\gamma=0,7$) 0,05%. Op een winderige plek neemt de kans op gevaar snel toe. Voor $\gamma=1,1$ bedraagt de kans op overschrijden van de gevaarsgrens in West-Nederland ongeveer 1%.

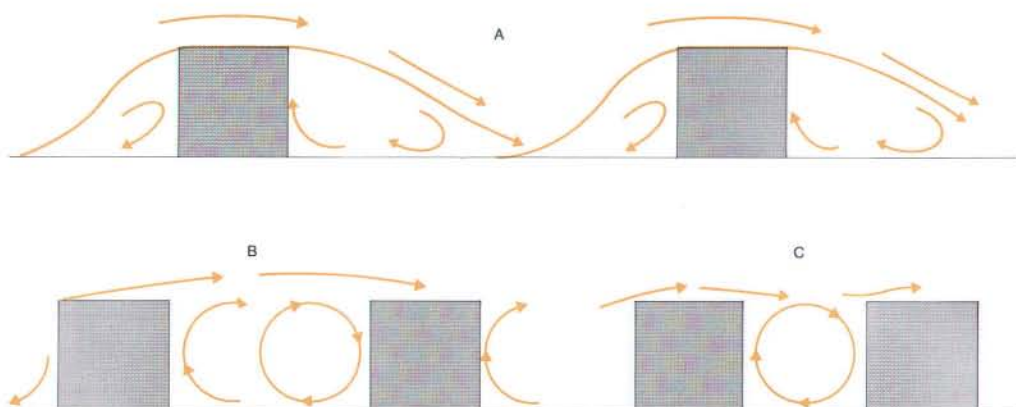
De wind boven de stad

Als lucht eerst over het vrije veld stroomt en vervolgens over de stad, passen de turbulentie en het verloop van de windsnelheid met de hoogte zich uiteraard aan de ondergrond aan.

6



7



De luchtstroom boven de gebouwen sleept de lucht in de straten, pleinen en parken mee. Lokaal zijn op beschutte plaatsen windvertragingen te verwachten, maar op andere plaatsen, vernauwingen en onderdoorgangen, rondom hoge gebouwen versnelt de wind soms enorm.

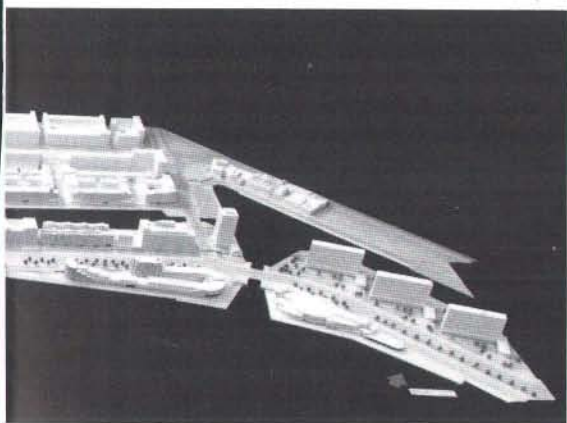
Om het ontstaan van de wind in de stad te begrijpen, moeten we onze aandacht achtereenvolgens richten op deze drie processen: de vertraging van de luchtstroom boven een stad, het meeslepen van de lucht in de stad en de lokale effecten die daarbij optreden. De vertraging van de luchtstroom boven een stad is een nog niet voldoende begrepen verschijnsel. Een aantal factoren speelt een rol. Een stad is inhomogeen van structuur. Bij iedere windrichting kiest de lucht een steeds andere weg. Het is niet gemakkelijk boven en in een stad informatie te

verzamelen over de stroming. Meestal verkrijgt men slechts informatie over één plaats en is de situatie 100 m verderop heel anders.

De warmte- en waterhuishouding in een stad zijn anders dan in het vrije veld. Daardoor is er een zogenaamd *warmte-eiland* in het landschap en ook dit heeft gevolgen voor de wind. Bij zwakke wind meet men 's nachts in de stad hogere temperaturen. Dit temperatuurverschil is 's zomers het grootst. Het warmte-eiland-effect, nog niet afdoende verklaard, is sterker naarmate de stad meer inwoners heeft en de stad dichter bebouwd is (afb. 10).

Een stad als een bos

De wind die over de stad stroomt probeert de lucht door straten en over pleinen mee te sle-

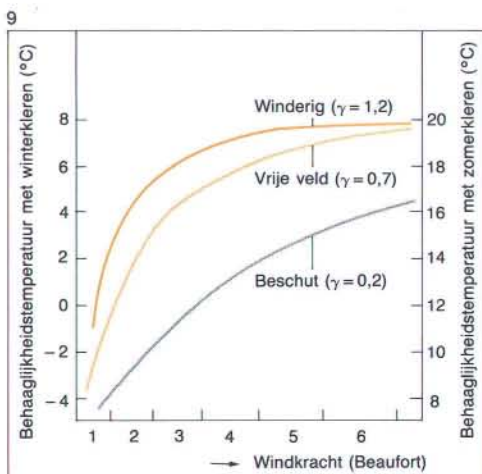
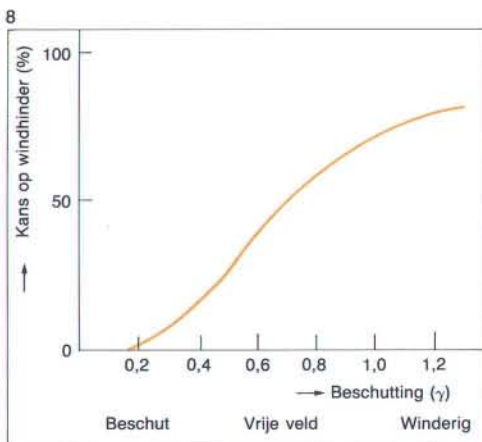


6. Rotterdam Waterstad is een grootscheeps project voor het 'eiland' langs de Nieuwe Waterweg. De spoorlijn is in de nieuwe situatie ondergronds gebracht. Het valt nog te bezien welke aanpassingen de geplande promenade langs het water aantrekkelijk kunnen maken, gezien het gevaar van windhinder van de dominerende hoge gebouwen, op de maquette van midden tot linksonder te zien.

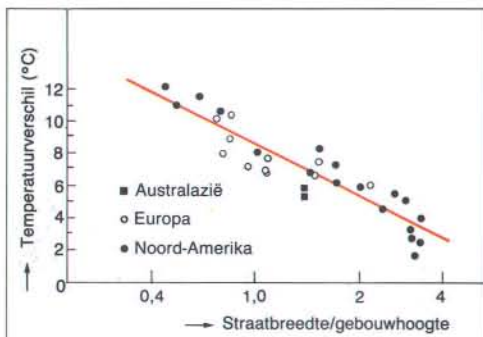
7. Is de onderlinge afstand tussen gebouwen groter dan 15 maal de gebouwhoogte, dan herstelt de windstroming zich (A). De lijwervel en de stroming over het volgende obstakel beïnvloeden elkaar wanneer de onderlinge afstand 2 tot 15 gebouwhoogten bedraagt (B). Staan de gebouwen dichter bij elkaar dan komen slechts kleine werfels voor (C).

8. De kans op windhinder in een stad nabij luchthaven Schiphol. De beschutting (γ) geeft de verhouding tussen de gemiddelde windsnelheid op loophoogte en die op 10 m hoogte in het vrije veld.

9. De temperatuur waarbij u zich behaaglijk voelt wanneer u een wandeling in de zon maakt op plaatsen met verschillende beschutting.



10. Het temperatuurverschil tussen een stad en het omringende vrije veld zoals dat maximaal op een zomernacht met weinig wind gemeten is. Het temperatuurverschil is afhankelijk van de verhouding tussen straatbreedte (x) en gebouwhoogte (H). Zijn de straten breed en de gebouwen hoog dan is het temperatuurverschil gering.



10

13. De kunstijsbaan van Alkmaar is omringd door een speciaal geconstrueerd klimaathek dat de windhinder en het energieverbruik enorm heeft doen afnemen. Uitgebreide proeven van TNO gingen aan de constructie vooraf. Op de foto van de windtunnelmaquette zijn de rode stippen sensoren voor windsnelheidsmeting.



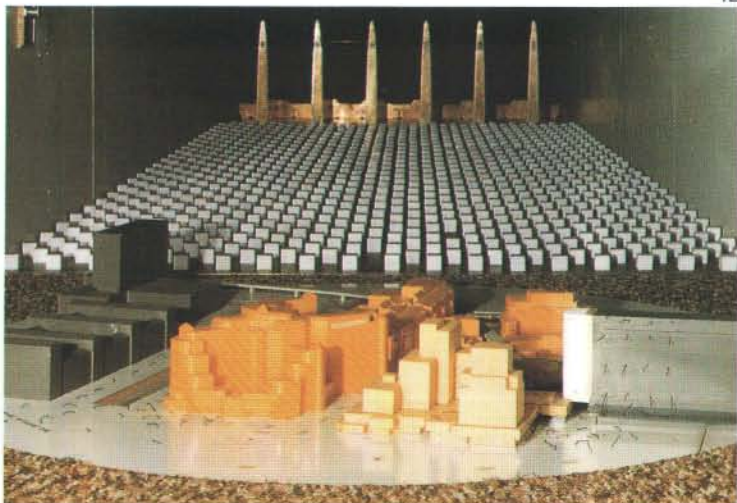
13

11

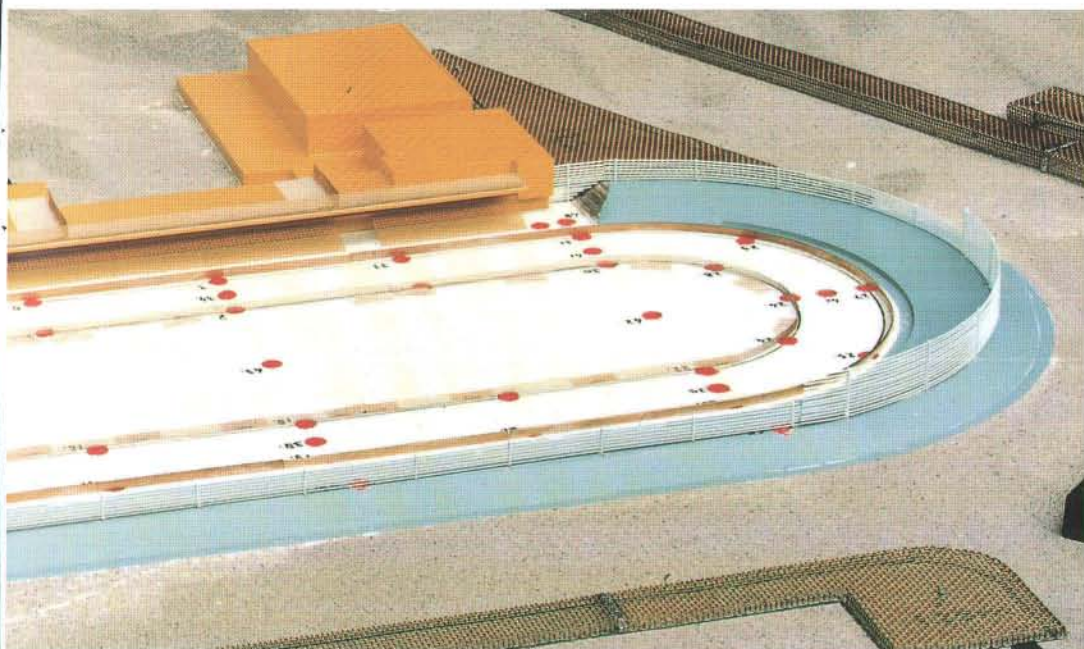


11. Het windscherm bij het Callandkanaal is terdege in de windtunnel bestudeerd voor het gebouw is. Het blijkt nu te voldoen: grote schepen kunnen de smalle brug makkelijker passeren dan voorheen.

12. Het Centraal Station van Den Haag, met het complex Babylon en het Ministerie van Buitenlandse Zaken in de windtunnel van TNO in Apeldoorn. Met schaalmodellen kan heel redelijk de windhinder rond nieuwe gebouwen voorspeld worden.



12



pen. Hoe hard het hierdoor in de stad gaat waaien hangt af van de geometrie van de stedelijke ruimte. De invloed van hoge gebouwen komt zo dadelijk ter sprake. Eerst komt nu het begrip open of dichte bebouwing aan de orde. Dit hangt af van de verhouding van de hoogte van de gebouwen tot de horizontale afmetingen van de ruimte. In afbeelding 7 is dit aangegeven voor twee rijen huizen waar de wind loodrecht op staat. In afbeelding 7A is de bebouwing open. De stroming kan zich achter de eerste rij huizen herstellen voordat een nieuwe rij huizen de stroming remt. Als de afstanden groter zijn dan bijvoorbeeld vijftien maal de gebouwhoogte is er weinig beschutting. Als de afstanden in de windrichting kleiner worden dan tweemaal de hoogte van de gebouwen, afbeelding 7C, is de beschutting optimaal. Ook de luchtverversing neemt dan af en wordt bij afstanden kleiner dan de hoogte duidelijk te gering. Afbeelding 10 laat zien dat ook het warmte-eiland toeneemt met de dichtheid van de bebouwing.

Bij een stadswandeling is duidelijk te ervaren dat de beschutting toeneemt als in de windrichting de afstand tussen de gebouwen kleiner wordt dan tweemaal de hoogte van de ge-

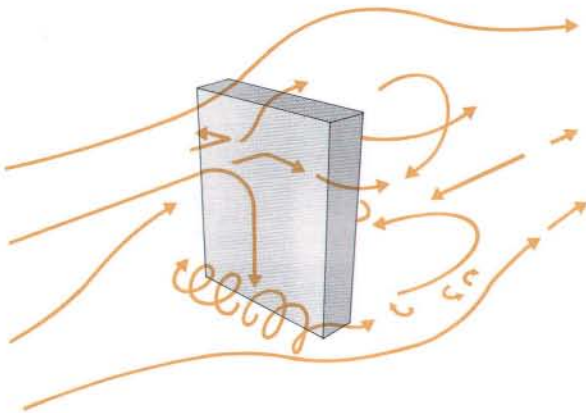
bouwen en de straatlengte korter wordt. Er zijn karakteristieke verschillen merkbaar tussen compacte en ruim gebouwde wijken. Het meest duidelijke voorbeeld van een aaneengesloten obstakelstroming is Manhattan, waar reusachtige wolkenkrabbers relatief dicht bij elkaar staan. De onderlinge afstand is daar veel geringer dan de hoogte. Men loopt als het ware in een dicht bos. Tussen de wolkenkrabbers mag er dan beschutting zijn voor de wind, maar de condities voor zonneschijn, temperatuur en verspreiding van luchtverontreiniging zijn in zo'n 'bos' minder gunstig.

De vergelijking tussen een stad en een bos gaat overigens snel mank. In een stad bestaat verkaveling. De wegen en kanalen zijn ook beddingen voor luchtstromen. Het onderzoek naar het verband tussen verkavelingswijze en beschutting staat nog in de kinderschoenen, hoewel Vitruvius en Hippocrates er al publicaties aan wijdden. Wel is duidelijk dat de beschutting toeneemt als de straten korter worden. Een bocht of afsluiting is uit een oogpunt van beschutting gewenst. Wat betreft de beschutting is een straat eigenlijk te lang als zij tienmaal langer is dan de hoogte van de huizen die er staan. Het is duidelijk dat men hier een

14. Een karikatuur van de stroming rond een hoog gebouw. De wervels op de hoeken hebben de hoogste snelheden. In neerwaartse stroming wordt lucht versneld, die aanvankelijk toch al sneller stroomde dan op loophoogte.

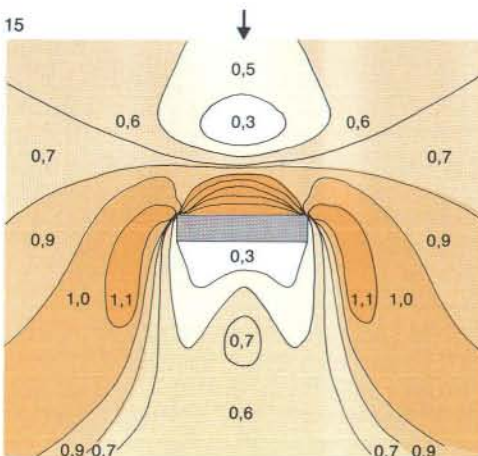
15. De beschutting (γ) aan de voet van een hoog gebouw. De hoogte is 50 m, de lengte 75 m en de breedte 15 m. Wanneer zo'n gebouw in het westen van Nederland staat, is er 75% kans dat er ergens rond dit gebouw hinder is; de kans op gevaar is 1%.

16. De stad São Paulo lijkt aerodynamisch gezien op een bos. De afstand tussen de gebouwen is kleiner dan hun hoogte. Op de grond zal daardoor nauwelijks windhinder optreden. Een uitzondering vormt misschien de lange brede weg midden op de foto.



14

15



16

afweging moet maken tussen een goede verspreiding van luchtverontreiniging, een goede bezonning en een vlotte verkeersafwikkeling.

Hoogbouw

Een enkel hoog gebouw in het vrije veld of te midden van laagbouw is, wat de invloed op het lokale klimaat betreft, geheel anders dan een woud van gebouwen. Volgens de Stichting Bouw-Research is windhinder te verwachten bij gebouwhoogten vanaf 15 m. Hoge gebouwen, die voor meer dan de helft van hun hoogte en tenminste 15 m uitsteken boven de omringende laagbouw, verslechteren in hun directe omgeving vrijwel zeker het windklimaat. Windhinder rond een hoog gebouw vindt zijn oorzaak in drie factoren. In de eerste plaats neemt de windsnelheid toe met de hoogte. Bij de stroming om een gebouw treedt ook een neerwaartse stroom op die dus al een hogere beginsnelheid heeft dan de windsnelheid op loophoogte. Daarbij komt dat in de neerwaartse beweging potentiële energie wordt om-



grote hotels. Men zoekt daar de oplossing in overkapping van het omringende gebied. Bovendien is het een kwestie van kiezen voor laagbouw of voor een Manhattan-achtige structuur. Een mengvorm geeft puzzels op het gebied van windhinder.

Hoe nu verder?

Het wetenschappelijk onderzoek naar de wind boven de stad, het meeslepen van de lucht in de stad bij verschillende verkavelingsvormen en gebouwhoogten, alsook het onderzoek naar de stroming rond gebouwen op kleinere schaal gaat, ook internationaal, voort. Naar verwachting zullen de architecten en stedenbouwers betere hulpmiddelen – al dan niet gecomputeriseerd – ter beschikking krijgen. Inmiddels is er deskundigheid om bij het ontwerpen te assisteren.

De windtunnel is en blijft een onontbeerlijk hulpmiddel om maquettes op stromingseffecten te toetsen. De stedenbouwfysicus kan bijdragen tot een betere gebouwde omgeving; het is een kwestie van doen.

gezet in kinetische energie. Dit wil zeggen dat de windsnelheid toeneemt. In de derde plaats moet de lucht om het gebouw heen, er is dus voor de lucht een kleiner oppervlak beschikbaar om doorheen te stromen, net zoals bij een versmalling in een rivier een stroomversnelling ontstaat. Door deze effecten ontstaan grote snelheden rond de hoeken van de gebouwen. De snelheidsverschillen worden zo groot dat de wrijving in de luchtstroom in evenwicht komt met de vrijkomende mechanische energie. Door die wrijving ontstaan overigens grote drukverschillen tussen loef- en lijzijde van hoge gebouwen. Daardoor zijn er nogal eens problemen met deuren en met hinder in onderdoorgangen. Na de jaren vijftig is men zich bewust geworden van de problemen die hoogbouw temidden van laagbouw meebrengt. Er is eigenlijk maar één oplossing: geen alleenstaande hoge gebouwen plaatsen. De één na beste oplossing is het hoge gebouw op een zeer groot podium zetten, zodat de windeffecten zich vooral op het podium afspelen en niet op looppniveau. In Jeruzalem ondervindt men in de oude binnenstad windhinder door enkele

Literatuur

- Gandemer J, Guyot A. La protection contre le vent. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 1981.
 Wieringa J, Rijkoort P. Windklimaat van Nederland. Den Haag: Staatsuitgeverij 1983.
 Stichting Bouw-Research. Beperken van windhinder om gebouwen. Deel 1: 1979. Deel 2: 1982.
 K.N.M.I. Luchtverontreiniging en weer. Den Haag: Staatsuitgeverij, 1979.
 Voorden M van der. Windhinder. Stichting Bouw-Research, 1982.
 Wisse JA. Wind in de gebouwde omgeving. Technische Universiteit Eindhoven, 1987.

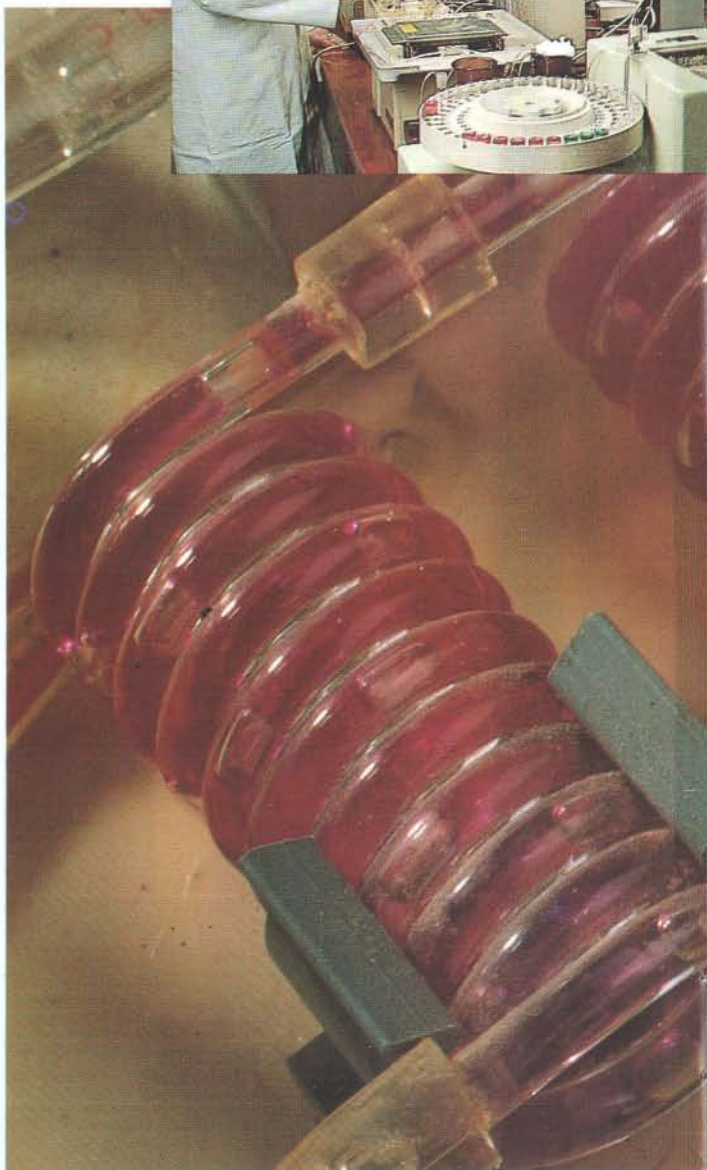
Bronvermelding illustraties

- Gemeente Amsterdam: opening pag 134-135
 Gemeente Den Haag: no. 1
 Gemeente Rotterdam: no. 6
 TNO, Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie, Apeldoorn: no. 11, 12, 13
 ABC press Amsterdam: no. 16
 De overige illustraties zijn afkomstig van de auteur.

Niet zo lang geleden werd de museumcollectie van het fameuze Smithsonian Institution in Washington DC uitgebreid met een bijzonder stuk: een exemplaar van de eerste generatie AutoAnalyzer. De AutoAnalyzer, bekend bij nagenoeg iedereen die ooit met een klinisch-chemisch laboratorium te maken heeft gehad, kreeg daarmee de status van cultuurmonument. In dit artikel staan we stil bij een apparaat dat de wereld van de klinische chemie heeft veranderd. De verschijning ervan in 1957 markeert het begin van de massale en geavanceerde mechanisering en automatisering die sindsdien in de klinische chemie heeft plaatsgevonden.

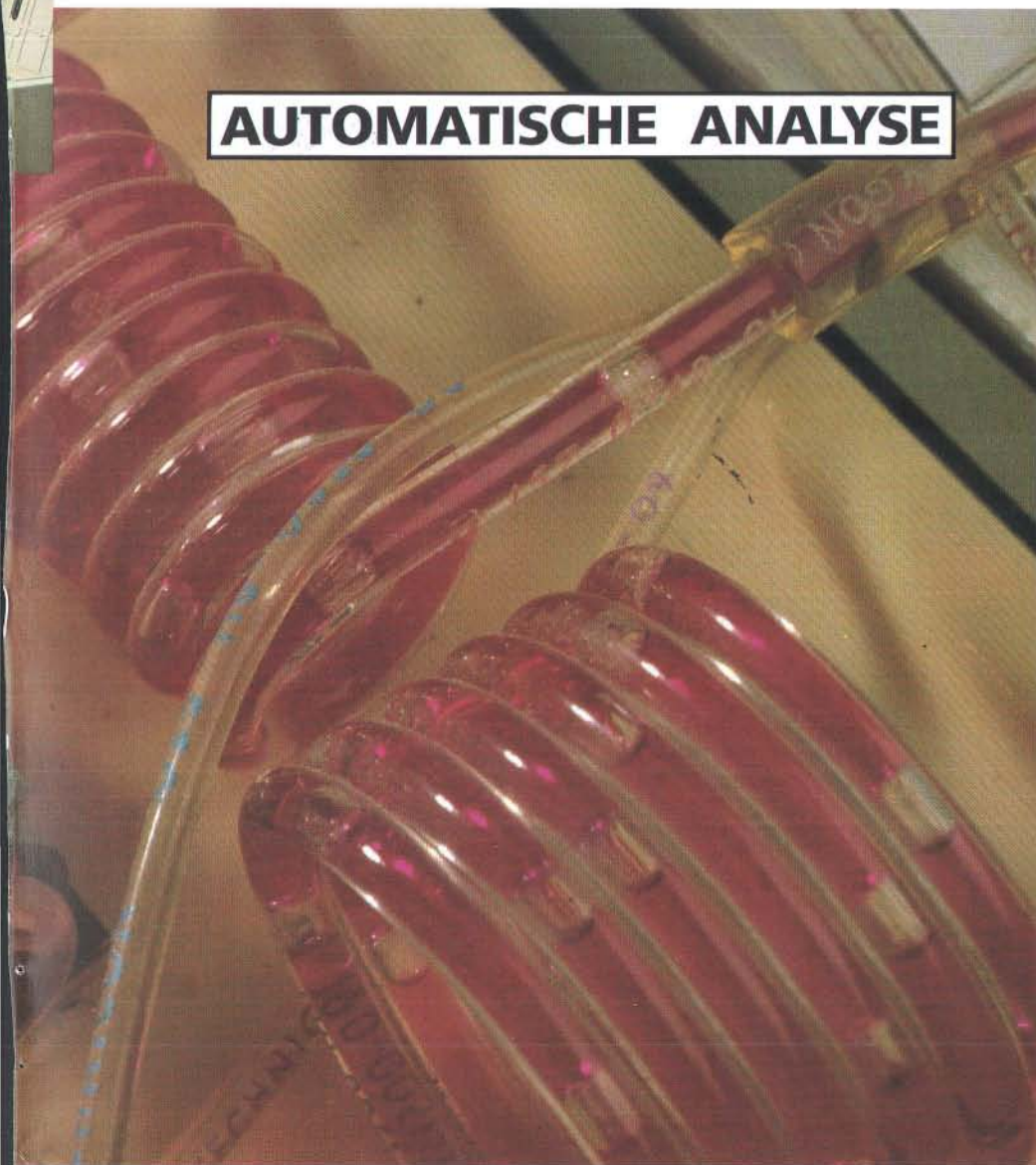
Eén van de hoofdkenmerken van de AutoAnalyzer is de modulaire opbouw. Die is op de kleine foto te zien. Vooraan zien we de monster-tafel, het apparaat daarachter is de pomp die de continue stroom van monsters en reagentia (afkomstig uit de flessen tussen monstertafel en pomp) in stand houdt. Daarachter staat een cartridge waarop een dialysator en mengspiralen zitten. Vervolgens zien we een colorimeter, een schrijver en een micro-computer voor de gegevensverwerking. Afgebeeld is een AutoAnalyzer II. Op de grote foto een detail van de cartridge met de mengspiralen. Op elk cartridge zien we een ander patroon van slangetjes en spiralen, afhankelijk van het aantal te gebruiken reagentia en de tijd die voor de reactie nodig is.

J.J. Heeren
Hogeschool West-Brabant
Etten-Leur



CONTINUE STROOM

AUTOMATISCHE ANALYSE



In de loop van de jaren vijftig werden de laboratoria van ziekenhuizen in Europa geconfronteerd met een toenemend aantal onderzoeksaanvragen. Er werd steeds meer gevraagd van de analisten en het gevaar bestond dat de kwaliteit van het werk op de tocht zou komen te staan. Anders dan in onze dagen was het moeilijk om aan gekwalificeerd personeel te komen. Men was daarom wel gedwongen de produktiviteit te verhogen door enigerlei vorm van mechanisatie. Begonnen werd met de invoering van zuigerpipetten en van gemechaniseerde verdunningsapparatuur.

Ook Dr Leonard Skeggs, een biochemicus die aan een ziekenhuis in Ohio verbonden was, werd geconfronteerd met toenemend werk voor en een grotere belasting van zijn medewerkers. Handig experimentator als hij was, bouwde hij, voornamelijk in de nachtelijke uren, thuis in de kelder, een apparaat dat later als AutoAnalyzer op de markt zou komen. Het verhaal van deze AutoAnalyzer is het verhaal van de *continuous flow analyse*; het is een verhaal Skeggs, maar ook van de firma Technicon die Skeggs' apparaat verder zou ontwikkelen en op de markt brengen. De AutoAnalyzer is sindsdien geworden tot een mijlpaal in de



1. Deze foto is van hetzelfde apparaat als op de vorige pagina, maar is van de andere kant genomen. Daardoor hebben we beter zicht op de colorimeter en de schrijver die de resultaten grafisch weergeeft. De colorimeter kan naar behoefte door andere meetapparatuur vervangen worden.

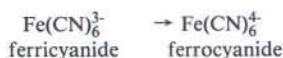
geschiedenis van de klinische en analytische chemie.

Leonard Tucker Skeggs werd op 9 juni 1918 in Fremont, Ohio geboren. Zijn ouders verhuisden enige jaren later naar Youngstown, Ohio, waar zijn vader tot de oprichters zou

De chemie bij de continuous flow analyse

INTERMEZZO

Het aantal bepalingen dat met het continuous flow systeem kan worden uitgevoerd, is buitengewoon groot. Het is dan ook moeilijk om in algemene zin iets over de chemie van de verschillende bepalingen te vertellen. Voor wat betreft het klinisch-chemisch onderzoek kan worden gesteld dat de chemie van de verschillende methoden doorgaans gelijk is aan die van de manuele methoden. Soms blijft de chemie bij de continuous flow uitvoering achter bij die van de modernere manuele methoden. Zo is de bepaling van de glucoseconcentratie in serum bij de AutoAnalyzer veelal gebaseerd op de methode van Hofmann: het gele ferricyanide-ion wordt daarbij door glucose in alkalisch milieu gereduceerd tot het kleurloze ferrocyanide:



Hagedorn en Jensen baseerden indertijd hun manuele, titrimetrische methode op dezelfde reactie: deze is voor manuele bepalingen echter al lang verlaten.

Voor de bepaling van ureum in bloed ging Skeggs uit van de reactie van Fearon. Hierbij reageert ureum met diacetylmonoxime (afb. 1). Deze verbinding valt uiteen in hydroxylamine en diacetyl. De laatste verbinding vormt met ureum een gekleurd produkt. Van deze (DAM-)methode zijn vele modificaties ontwikkeld. Zo werden veranderingen aangebracht in de toegepaste zuren en werden thiosemicarbazide en ferri-ionen als katalysator toegevoegd. Hoe deze in de configuratie van de AutoAnalyzer worden ingepast is te zien in het hiernaast afgebeelde stroomschema. Het ureum beweegt door de dialysemembraan naar de stroom met diacetylmonoxime, waarna de verdunde zuren worden toegevoegd.

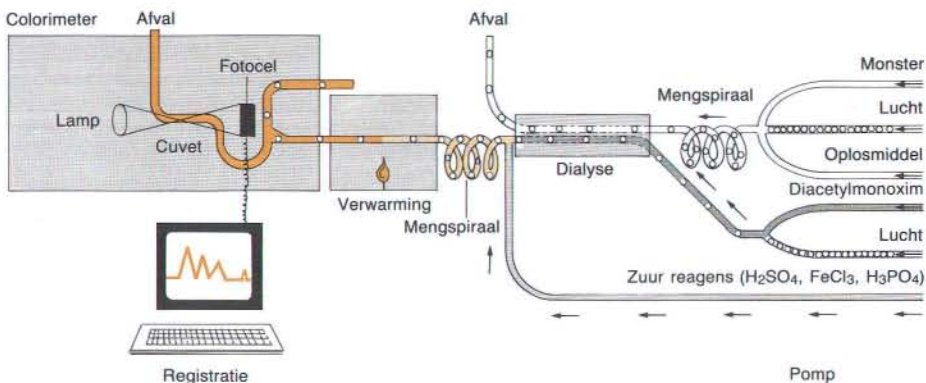
gaan behoren van Youngstown College, de latere Youngstown State University. In 1960 zou Skeggs jr. de eerste zijn aan wie een eredoctoraat van die universiteit zou worden verleend. Eind 1947 trad Skeggs in dienst van het Crile Veterans Administration Hospital in Parma, Ohio en begon daar, samen met zijn collega Dr Leonards, een onderzoek naar de optimalisering van de kunstnier. Hij gaf daarbij blijk van een scherp technisch inzicht en van grote technische vaardigheden. Hun werk had resultaat en leidde tot de ontwikkeling van een nieuwe kunstnier, die als de Skeggs-Leonards kunstnier bekend zou worden. De kennis van dialyse, opgedaan bij de ontwikkeling van zijn kunstnier, zou Skeggs van groot nut zijn bij de ontwikkeling van de continuous flow analyse.

Maar eerst zou Skeggs zich nog op een ander gebied verdienstelijk maken. Hij onderzocht het renine-angiotensine systeem, dat van grote betekenis is voor de regulering van de bloeddruk. Angiotensine is een hormoon dat voor vaatvernauwing en bloeddrukverhoging zorgt en ontstaat onder invloed van renine. Skeggs toonde aan dat angiotensine in twee vormen voorkomt: angiotensine I, een decapeptide (tien aminozuren), en het angiotensine II, een

octapeptide (acht aminozuren), dat door toevoegen van een specifiek enzym uit angiotensine I gevormd wordt.

Continuous flow analyse

Al was Skeggs' aandacht vooral gericht op de research; hij had ook de verantwoordelijkheid voor het klinisch-chemisch laboratorium van zijn ziekenhuis. En het ontging hem dus niet dat het routineonderzoek in omvang en zwaarte steeds meer toenam en een grote last legde op het laboratoriumpersoneel. Van de meest aangevraagde bepalingen, zoals die van glucose en ureum in bloed, moesten dagelijks grote series van tientallen monsters met de hand worden onderzocht; de toegepaste methoden waren veelal erg bewerkelijk en tijdrovend. Het moest anders kunnen. Na lang piekeren was er de inval: "Why not do these analyses continuously, in a flowing stream, rather than batchwise in testtubes?" Het idee sprak aan: de benodigde gelden werden hem ter beschikking gesteld en Skeggs zette zich aan de uitwerking van zijn idee. In de kelder van zijn huis en buiten de normale werktijden; overdag wachtte de research en het lab.



1. Een overzichtsschema van de AutoAnalyser in de configuratie waarin het ureumgehalte in bloed getest wordt. Verdunde monsters worden via de dialysemembraan in contact gebracht met het eerste van

de twee reagentia, het tweede wordt onmiddellijk daarna toegevoegd. Het geheel wordt verhit en in een door de lengte van de buisjes en de stroomsnelheid bepaalde tijd kan de kleurreactie zich afspelen.

De meeste klinisch-chemische bepalingen die rond 1950 werden uitgevoerd, werden gekenmerkt door min of meer dezelfde analysestappen en door eenzelfde volgorde van handelingen: het pipetteren van een al of niet verdund monster en reagentia, het mengen en incuberen gedurende een bepaalde tijd en bij een zekere temperatuur, het meten van een karakteristieke grootte van het reactieproduct – veelal de extinctie – en tenslotte de berekening en verwerking van de verkregen resultaten. Vaak was het noodzakelijk het monster vooraf te ontdoen van eiwitten die de meting zouden kunnen verstoren. Veel van deze analysestappen lenen zich zeer wel voor een tijdsparende, gedeeltelijke mechanisering.

Skeggs' idee was even eenvoudig als geniaal. In zijn eigen woorden: "Blood samples are introduced in succession into a flowing stream of reagents. Air bubbles are added into the stream to maintain separation between the samples. The stream can be dialysed, heated or otherwise processed and is finally passed through a flowcell in a colorimeter equipped for recording (...) A technician will no longer have to stepwise measure, add and process the samples and reagents for each and every required test. Her time will be freed for specialized requests and the margin for human error should be eliminated."

Avond aan avond werkte hij in de winter van 1950-1951, in het ijskoude souterrain van zijn huis aan de uitwerking van zijn idee. Gekozen werd voor de bepaling van ureum in bloedserum vanwege de vrij eenvoudige procedure. In het voorjaar van 1951 was Skeggs zo ver dat het hem nuttig leek na te gaan of er al patenten rustten op een dergelijke methode. Het idee bleek nieuw en had geen equivalent.

Toen werd het tijd het prototype door anderen te laten testen. Een paar collega's verklaarden zich bereid de eerste continuous flow analyzer uit te proberen en toonden zich enthousiast. De resultaten waren meer dan bevredigend. Het leek nu zaak iemand te vinden die het apparaat seriematig zou kunnen bouwen en op de markt brengen. Het was inmiddels maart 1952 geworden. De eerste pogingen bedrijven te interesseren waren teleurstellend. Ofwel ze waren volstrekt niet geïnteresseerd, vonden het nog te prematuur, of het ging hun mogelijkheden te boven. In februari 1954 kreeg Skeggs contact met de firma Technicon



2

en in mei van dat jaar werd een overeenkomst gesloten om het apparaat, waarvoor de merknaam AutoAnalyzer werd bedacht, te gaan produceren. Bovendien verplichtte Skeggs zich tot verder onderzoek, erop gericht om meer bepalingen geschikt te maken voor de AutoAnalyzer.

In 1957 kwamen de eerste commerciële AutoAnalyzers op de Amerikaanse markt. Het betekende het begin van een stormachtige ontwikkeling. Het was alsof de laboratoria erop hadden gewacht. De fabriek waar de AutoAnalyzers werden gebouwd bleek spoedig te klein. Het aantal werknemers van Technicon groeide explosief. In duizenden laboratoria over de gehele wereld, klinisch-chemische, maar ook industriële en universitaire laboratoria, zou de AutoAnalyzer een begrip worden.

De Technicon AutoAnalyzer

Skeggs zelf bouwde drie prototypes van wat later de AutoAnalyzer zou worden. Het derde werd door Technicon gebruikt bij haar ontwikkelingswerk en was ingericht voor de bepaling van glucose in bloed. De eerste in 1957 uitgebrachte machine was een *single channel* AutoAnalyzer die 20 monsters op glucose kon onderzoeken. Kenmerkend was toen al de modulaire opbouw die we bij alle latere AutoAnalyzers terugvinden.

De te bepalen monsters bevinden zich op een monstertafel: een schijf met uitsparingen voor de monsterbuisjes (cupjes). Een metalen naald duikt in een cupje en zuigt gedurende een in-



3

2. Een detail van de monstertafel. De monsters bevinden zich in de cups op de ronde schijf. Door de naald wordt de vloeistof opgezogen. Tussen twee monsternames door zwenkt de naald naar een reservoir met wasvloeistof in het kastje rechts. Zo wordt voorkomen dat sporen van een monster in het daaropvolgende monster terechtkomen.

3. De pomp met flessen met reagentia. Als de pomp werkt is hij afgedekt met een deksel dat de hier zichtbare slangetjes tegen de metalen cilinders drukt. Deze cilinders zitten aan een ketting die ronddraait.

4. De dialysator die bij sommige bepalingen nodig is, bestaat uit twee perspex blokjes boven elkaar. In beide blokjes is een U-vormige groef uitgespaard. De blokjes zijn zo gemonteerd dat de groeven tegenover elkaar liggen met een dialysemembraan ertussen.



stelbare tijd het monster op. De naald gaat omhoog, zuigt daarbij lucht aan en duikt vervolgens in een reservoir met wasvloeistof. Daarna gaat de naald op weg naar het volgende cupje: de monstertafel is inmiddels één positie gedraaid. De combinatie van twee luchtballen en wasvloeistof vormt zo de scheiding tussen de verschillende monsters.

Een peristaltische pomp vormt het hart van het continuous flow systeem: de rollers van de pomp persen het monster en de reagentia voor zich uit. De laatste worden vanuit voorraadflessen aangezogen via flexibele slangen. De voortgedreven hoeveelheden zijn afhankelijk van de inwendige doorsnede daarvan. Een kleurcode voorkomt vergissingen.

De monsterstroom doorloopt vervolgens een dialysator. De storende hoogmoleculaire plasma-eiwitten blijven achter, terwijl de te bepalen stof in het dialysaat overgaat. Daarbij wordt gebruik gemaakt van het feit dat bepaalde membranen selectief deeltjes kunnen doorlaten op grond van hun moleculamassa. Kleine deeltjes kunnen de poriën van de membraan passeren, grotere niet. De dialysator in een AutoAnalyzer bestaat uit twee platen van metaal of kunststof die zijn voorzien van een groef. Daartussen bevindt zich een semipermeabele membraan van cellofaan. Beide platen zijn zo aangebracht dat de groeven tegen-

Detectiesystemen bij de Auto-Analyzer

Detectie bij de AutoAnalyzer gebeurt in de meeste gevallen middels een in het systeem opgenomen colorimeter. Hierbij wordt de intensiteit van de bij een reactie gevormde kleur gemeten. Uitgangspunt hierbij is de geldigheid van de wet van Lambert-Beer: er bestaat een lineair verband tussen de concentratie en de extinctie van de gemeten oplossing. De extinctie E is hierbij gedefinieerd als de negatieve logaritme van de transmissie T , de verhouding van opvallend en doorgelaten licht van een zekere golflengte:

$$T = I / I_0; E = -\log T = \epsilon \cdot c \cdot d$$

Hierin staan I en I_0 voor de intensiteit van

respectievelijk doorgelaten en opvallend licht; c voor de concentratie van de betreffende stof in de te meten oplossing en d voor de afstand die het licht in die oplossing heeft afgelegd (lichtweg). ϵ is een factor, de extinctiecoëfficiënt.

Centraal bij de fotometrische detectie in de AutoAnalyzer staat de cuvet, de ruimte waarin de extinctie wordt gemeten. Het betreft hier een doorstroomcuvet, opgenomen in het continuus flow systeem. Volume en vorm van dit doorstroomcuvet bepalen in hoge mate de eigenschappen van het systeem.

Detectie kan ook op andere wijze plaatsvinden. De concentratie van natrium en kalium wordt door middel van vlamfotometrische detectie gemeten; daarnaast vindt voor een aantal componenten een elektrochemische detectie met behulp van ionselectieve elektroden plaats.

over elkaar liggen. Door de ene groef laat men de monstervloeistof lopen, door de andere een ontvangervloeistof. Glucosemolekulen in de monstervloeistof zullen dan gedeeltelijk overgaan in de ontvangervloeistof, in contact komen met de reagentia en naar de detector gevoerd worden. Dat slechts een deel van de glucose de dialysemembraan passeert is minder bezwaarlijk dan het op het eerste gezicht lijkt. De doorgelaten hoeveelheid is afhankelijk van het membraanoppervlak, de stroomsnelheid en de temperatuur. Zolang deze grootheden constant gehouden worden, wordt de hoeveelheid doorgelaten glucose uitsluitend bepaald door de concentratie in het monster. Bij een bepaling worden dan ook monsters met een bekende concentratie meegenomen.

Nu kunnen de gezuiverde monsterstroom en de reagentia worden samengebracht en gemengd in mengspiralen. Daarbij vindt de chemische reactie plaats, die aan de bepaling ten grondslag ligt. In het algemeen gebeurt dit bij hogere temperaturen zodat de monster/reagensstroom een verwarmingsbad moet passeren. De duur van deze reactieperiode wordt bepaald door de lengte van het spiraalsysteem in het bad (zie Intermezzo I).

Tenslotte vindt de detectie plaats. In de meeste gevallen passeert de vloeistofstroom de flow cell van een colorimeter waar de extinctie

van de testoplossing wordt gemeten. Detectie middels een vlamfotometer of een ionselectieve elektrode is ook mogelijk (Intermezzo II). Het resultaat wordt op een recorder zichtbaar gemaakt, dan wel uitgeprint.

Meerkanaals systemen

De AutoAnalyzer I kon maar één bepaling tegelijk doen. Om naast bijvoorbeeld glucose



5. De nieuwste versie van de AutoAnalyzer is verticaal georiënteerd. Rechts in de grote kast is ruimte voor reagentia; links daarvan de pomp en de te gebruiken cartridges. Vóór de kast de monstertafel, die niet rond maar rechthoekig is uitgevoerd. De bediening van dit apparaat is in hoge mate geautomatiseerd.



II. Een blik in de colorimeter van een tweekanaalsysteem. We zien twee doorstroomcuvetten (onder) en twee fotocellen (boven).

ook ureum te kunnen bepalen moest het apparaat worden omgebouwd, reagentia verwisseld, slangen aangepast etcetera. De behoefte bestond om één monster bloed op meerdere parameters tegelijk te onderzoeken.

Skeggs zelf ontwikkelde in de Technicon-laboratoria een achtkanaals analyzer, waarmee het mogelijk was om in één monster de concentraties ureum, glucose, totaal eiwit, albumine, natrium, kalium, kooldioxyde en chloride te bepalen. Een uitbreiding van de oorspronkelijke opzet met onder andere een vlamfotometereenheid en aangepaste detectiesystemen was daartoe noodzakelijk. Voor elke bepaling kwam er een eigen continuous flow unit, een zogenaamde *cartridge*.

Vanaf 1965 werden deze meerkanaals apparaten op de markt gebracht: de SMA (Sequential Multiple Analysis) systemen. Een voorbeeld is de SMA 12/60 waarmee twaalf verschillende parameters, waaronder enzymen, konden worden bepaald; per uur 60 monsters van 2 ml. De oorspronkelijke AutoAnalyzer werd overigens ook steeds verbeterd: betere pompen, een nog geringer monstervolume en een verbeterde dialysator werden gerealiseerd in de AutoAnalyzer II die vanaf 1970 op de markt kwam. In 1972 introduceerde Technicon de SMAC, een gecomputeriseerde SMA en nog steeds het werkpaard in menig labora-

um: hiermee was het mogelijk 20 verschillende bepalingen in één monster uit te voeren met een snelheid van 150 monsters per uur.

De AutoAnalyzer in het laboratorium

Het continuous flow analysesysteem is door Skeggs ontwikkeld voor toepassing binnen het klinisch-chemisch laboratorium. Inderdaad zijn er weinig laboratoria waar geen AutoAnalyzer is geplaatst. In Nederland werd het eerste exemplaar al in 1958 opgesteld in het laboratorium van het Elisabeth Ziekenhuis in Tilburg; van deze AutoAnalyzer I zijn er in Nederland 160 geplaatst. Van de AutoAnalyzer II liefst 250.

Maar niet alleen in klinisch-chemische laboratoria vonden zij toepassing. Overal waar grote series monsters moeten worden onderzocht kunnen deze systemen worden aange troffen. In Nederland vinden we ze bij Keuringsdiensten van Waren, bij Rijkswaterstaat, in de levensmiddelen- en de zuivelindustrie; bij productiebedrijven maar ook bij universiteiten; bij waterschappen en drinkwaterbedrijven. Vaak betreft het modificaties van de AutoAnalyzer, die speciaal zijn ingericht om aan de specifieke eisen van de gebruiker te voldoen.

Leonard Skeggs heeft met zijn continuous flow system geschiedenis gemaakt. Zijn uitvinding heeft hem een blijvende plaats in de geschiedenis van de analytische chemie en in die van de klinische chemie opgeleverd. Vele eerbewijzen en eredoctoraten zijn hem inmiddels ten deel gevallen. Wellicht heeft ook Skeggs de plaatsing van een AutoAnalyzer I in het Smithsonian Institution in Washington DC als het grootste eerbewijs ervaren.

Literatuur

- Skeggs LT. An Automatic Method for Colorimetric Analyses. *Amer. J. Clin. Pathol.* 1957; 28: 311-322
Furman WB. Continuous Flow Analysis, theory and practice. New York/Basel: Marcel Dekker, 1976

Bronvermelding illustraties

- Bran en Lübke/Technicon, Maarssen: 5
Alle overige foto's zijn gemaakt door Paul Mellaart, met dank aan de Keuringsdienst van Waren te Maastricht.

ACTUEEL

Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving

natuur en techniek

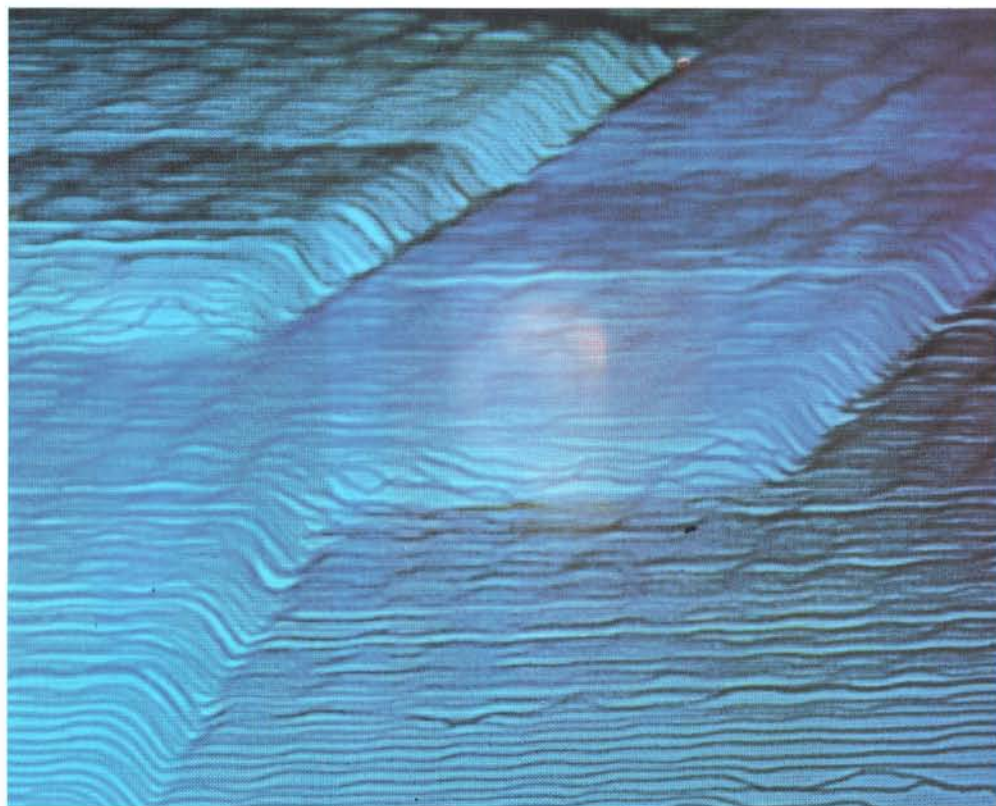
Kristallen smelten beetje bij beetje

Het oppervlak van een loodkristal begint al te smelten ver onder de temperatuur waarbij het kristal als geheel smelt. Dat opmerkelijke verschijnsel werd enkele jaren geleden door Joost Frenken en Friso van der Veen van het FOM-Instituut voor Atoom- en Molecuulfysica (AMOLF) in Amsterdam voor het eerst experimenteel aangetoond. Nu hebben de onderzoekers van toen en hun collega's

Bart Pluis en Arnoud Denier van der Gon voor het eerst experimenteel laten zien dat het begin van smelten afhankelijk is van de plaats op het kristal. Er zijn veel plaatsen waar het smelten al beneden het smeltpunt van het materiaal als geheel begint, maar er zijn ook plekken waar het smelten pas bij de echte smelttemperatuur inzet. Door hun metingen hebben de onderzoekers op overtuigende manier aannemelijk ge-

maakt dat het smelten van een vaste stof inderdaad aan het oppervlak begint. De resultaten verklaren ook waarom een vaste stof nooit vast is boven zijn smeltpunt.

De onderzoekers beschoten een perfect éénkristal van lood, dat ze cilindervormig hadden geslepen, met protonen. Wanneer de protonen precies langs een hoofdas van de kristalstructuur op het kristal worden geschoten, kunnen ze alleen de buitenste atomen van het kristal treffen. Alle dieper gelegen atomen worden door de buitenste afgeschermd. Het gevolg is



dat maar heel weinig protonen door het kristaloppervlak teruggekaatst worden en door een detector gemeten. Bij het smelten van een loodkristal komen de atomen aan het oppervlak van het kristal in beweging. Ze verlaten hun vaste positie in het kristal. Daardoor wordt het aantal van het oppervlak teruggekaatste protonen na beschieting van het kristal enorm veel groter. De protonen zien gewoon meer atomen, waarmee ze kunnen botsen. De gebruikte onderzoekstechniek wordt ionenbundelkristallografie genoemd.

De AMOLF-onderzoekers lieten ook het cilindervormige kristal onder de protonenbundel bewegen. Daardoor kwamen de protonen achtereenvolgens op verschillende plaatsen het kristal binnen. Op sommige plekken van de cilinder is de pakking van de atomen in de allerbuitenste laag zeer dicht, op andere plekken heel ijl. Bij verhoging van de temperatuur van het kristal bleek overal beneden het smeltpunt het begin van wanorde in de buitenste atoomlaag te ontstaan, behalve waar de atomen aan het oppervlak dicht gepakt zijn en dus steviger verankerd aan de nabuuraatomen in het kristal. Op die plaats begon de wanorde en dus het smelten pas bij het echte smeltpunt van lood op te treden. In de praktijk zijn kristallen en oppervlakken nooit perfect van vorm en oriëntatie. Daarom zullen er altijd plekken zijn waar het smelten beneden het smeltpunt al begint. Dat is de reden dat nooit lood wordt aangetroffen dat boven zijn smeltpunt nog vast is. De experimenten worden momenteel voortgezet aan allerlei andere elementen.

(Newton News)

Het oppervlak van een goudkristal opgenomen met een tunneling microscopie toont hoe de atomen en atoomlagen zijn gerangschikt (foto IBM).

Adoptieve immunotherapie

Voor de bestrijding van kanker worden er klassiek drie soorten therapieën aangewend: *heelkunde*, *radiotherapie* (bestraling) en *chemotherapie* (geneesmiddelen). Binnen de chemotherapie is de zoektocht naar de *magic bullet*, die selectief kankercellen opruimt en gezonde cellen ongemoeid laat, de laatste jaren als een beloftevolle nieuwe benadering op de voorgrond getreden. De *immunotherapie* is een experimentele strategie die een beroep doet op het verdedigingssysteem van het lichaam tegen vreemde cellen of molekulen, door gebruik van lichaamseigen stoffen als interferonen, tumor necrosis factor, interleukinen, of gestimuleerde cellen van het immuunsysteem. Kwaadaardige cellen verschillen immers immunologisch van de normale lichaamscellen en worden bijgevolg door het immuunsysteem als ongewenste indringers beschouwd. Het aanwakken van het immuunsysteem tegen de als vreemd beschouwde kankercellen is dan ook een logische benadering. Cellen van het immuunsysteem kunnen dus als *magic bullet* dienstdoen.

Recent is heel wat te doen geweest rond de zogenaamde *adoptieve immunotherapie*. Deze nog controverse therapie wordt door dr Steven Rosenberg (National Cancer Institute, Bethesda, USA) voorgesteld als laatste redmiddel in de strijd tegen onbehandelbare uitgezaaide kankers. In december 1985 publiceerde hij de eerste voorlopige resultaten van een klinische studie bij 25 patiënten met gevorderde uitgezaaide maligne aandoeningen (New England Journal of Medicine (NEJM) 1985: 313; 1485-1492). Rosenbergs adoptieve immunotherapie bestaat erin lymfocyten (een klasse van witte bloedcellen) uit het bloed van de patiënt af te zonderen en te incuberen met recombi-

nant interleukine-2 (IL-2). Deze stof behoort tot de lymfokinen, een groep van boodschappermolekulen die een belangrijke rol spelen in de interacties binnen het immuunsysteem. IL-2 stimuleert de vermenigvuldiging van een klasse natuurlijke celdodende lymfocyten, de *lymphokin activated killer* (LAK)-cellen. De zo verkregen LAK-cellen worden terug in de patiënt gespoten, te zamen met herhaalde doses IL-2. Evenals bij voorafgaande experimenten bij muizen, kon een belangrijke afname van de uitgezaaide gezwellen bij sommige patiënten worden vastgesteld.

Deze voorstudie gaf aanleiding tot een grotere klinische studie, waarvan de resultaten onlangs gepubliceerd werden (NEJM 1987: 316; 889-898). Het ging om 157 patiënten met gevorderde uitgezaaide kankers die behandeld werden met LAK-cellen en IL-2 of met hoge doses IL-2 alleen. Bij al deze patiënten hadden standaardtherapieën gefaald. Bij 30% van de eerste groep bleek de therapie te helpen, tegenover bij slechts 15% in de tweede groep. Bij negen patiënten werd een spectaculair succes bereikt: van de uitgezaaide kanker (metastase) was geen spoor terug te vinden. Opvallend was evenwel de ernstige toxiciteit van de hoge doses IL-2, die vooralsnog veralgemeende toepassing van de therapie in de weg staan. IL-2 blijkt de permeabiliteit van de haarvaten te verhogen, hetgeen resulteert in bloeddrukval en massieve vocht-ophoping in de weefsels. De patiënten namen gemiddeld meer dan 7% toe in gewicht, 10% van hen moest zelfs geïntubeerd worden, vier overleefden de behandeling niet. Braken, diarree en huiduitslag kwamen bij nagenoeg alle patiënten voor, in veel gevallen noteerde men bloedarmoede en lever- en nierfunctiestoornissen. In hetzelfde nummer van de NEJM verscheen evenwel een studie van dr Robert Oldham, waaruit bleek dat met constante in

plaats van herhaalde toediening van IL-2 de ernstige neveneffecten gereduceerd worden, terwijl de antitumorale activiteit even groot schijnt te zijn. Niettemin zijn andere behandelingschema's, met lagere doses EL-2 en/of nog actievere cellen, gewenst vóór adoptieve immunotherapie op grote schaal kan worden uitgevoerd.

Op zoek naar nog actievere kancerceldodende lymfocyten, identificeerde dr Rosenberg reeds eerder de *tumor infiltrating lymphocytes* (TIL)-cellen, een subklasse van T-lymfocyten die groeiende gezwellen infiltreren (Science, 233, 1318-1321). Deze cellen werden gezuiverd uit een experimenteel veroorzaakte muisetumor en werden in het laboratorium gekweekt in aanwezigheid van IL-2. Deze TIL-cellen bleken bij muizen, die een dosis kankercellen hadden ontvangen, vijftig tot honderd maal actiever te zijn dan LAK-cellen in het opruimen van kleine uitzaaiingen. Bovendien bereikten deze cellen hun effect ook zonder bijkomende injecties van IL-2, alhoewel lage doses IL-2 hun werkzaamheid verhogen. Bij muizen die tevens het immunosuppressivum cyclofosfamide toegediend kregen, verdwenen zelfs in 100% van de gevallen vergevorderde levermetastasen en in 75% van de gevallen longmetastasen. Tumoren die adoptieve immunotherapie met LAK-cellen en IL-2 weerstonden verdwenen wel onder dit schema. Tenslotte bleken de muizen immuun te zijn geworden voor een confrontatie met hetzelfde type kanker.

Het komt er nu op aan deze veelbelovende bevindingen opnieuw te bevestigen bij patiënten. Tegenover het LAK-schema biedt deze benadering alvast het voordeel dat veel minder cellen en IL-2 nodig zijn. Toch blijft adoptieve immunotherapie voor algemene klinische toepassing een dure en omslachtige procedure, aangezien de cellen voor elke patiënt

afzonderlijk bereid moeten worden, men daarnaast moet vaststellen dat slechts in een minderheid van de gevallen van een echt succes gesproken mag worden. Intussen heeft de nieuwe therapie al heel wat stof doen opwaaien in de Amerikaanse pers en de medische wereld. Dr Rosenberg lijkt een medische superstar. Hij was het die de natie in beroering bracht door op 16 juli 1985 tijdens de persconferentie over Reagans dikdarmoperatie als hoofd van het chirurgisch team koelweg te openen met de zin: "The President has cancer". Zijn volgende exploit, de klinische studie met LAK-cellen en IL-2, bracht hem op de cover van Fortune en Newsweek. Deze begrijpelijke media-belangstelling leverde hem dan weer een honend editoriaal op in het respectabele Journal of the American Medical Association.

Dr Oldham van zijn kant verliet in 1985 zijn belangrijke positie aan het National Cancer Institute om zijn eigen firma Biotherapeutics op te richten. Tegen betaling van duizenden dollars kunnen hopeloze kankerpatiënten een beroep doen op geïndividualiseerde experimentele behandelingen als adoptieve immunotherapie of met kankercel-specifieke monoklonale antistoffen. Dat deze firma een nog experimentele therapie commercieel uitbuit, is uiteraard nieuw voer voor de reeds verhitte debatten tussen kankerspecialisten over deze nieuwe methode.

In ieder geval lijkt het erop dat het eigen immuunsysteem in sommige gevallen met succes kan ingeschakeld worden bij kankerpatiënten waarvoor een standaardtherapie niet meer baat. Of adoptieve immunotherapie nu ook werkelijk een doorbraak is in de strijd tegen kanker in het algemeen, zal de toekomst moeten uitwijzen.

Dr Peter Mombaerts
Massachusetts Institute
of Technology, Cambridge, USA

Onderwatertoerisme

Een Schotse werf in Inverkeithing doet aan produktdiversificatie door haar kennis over onderwatertechnologie te gebruiken voor de bouw van toeristische onderzeeërs. Oorspronkelijk was de werf geheel gericht op de bouw van apparatuur voor de olie- en gaswinning in de Noordzee. Bestellingen voor het onderwatervehikel zijn al binnen van de Bermudas en uit Japan. In Finland wordt deze 'Looking Glass 50' in licentie gebouwd. De schepen zijn 18 m lang en kunnen met 48 passagiers aan boord tot op 76 m diepte duiken. De toeschouwers kunnen dus taferelen van de onderwaterwereld bewonderen die normaal alleen onder ogen van ervaren duikers komen.



Een klein onderzeerobotje kan worden bijgeleverd. Die kan met een videocamera rond de 'Looking Glass' varen en zo voor de passagiers de onvergetelijke momenten van de reis vastleggen, onder andere de passagiers zelf zoals ze met hun neus tegen het glas gedrukt naar het robotje staren.

Wellicht is het bootje ook iets voor de maatschappijen die in Nederland en België in de historische steden rondvaarten verzorgen. In Amsterdam bijvoorbeeld moet onder water een prachtverzameling oude fietsen liggen.

(London Picture Service)

Een touristische onderzeeër van het type 'Looking Glass 50' op de werf in Inverkeithing (Schotland).

Muizen als geneesmiddelenproducent

Enkele jaren geleden ontwikkelden Richard Palmiter en Ralph Brinster de techniek van *transgene muizen*, de eerste stap op weg naar genetische manipulatie van zoogdieren. Men herinnert zich nog wel de foto's in de pers van de reuzenmuizen. Micro-injectie van het gen voor groeihormoon in bevruchte eicellen had een dramatische groei tot gevolg van de muizen die eruit voortkwamen. Onlangs zijn onderzoekers van *Integrated Genetics*, een biotechnologiebedrijf in Boston, erin geslaagd transgene muizen te maken die een menselijk eiwit, weefsel-plasminogeen activator (t-PA), in hun melk afscheiden. Het gebruik van transgene muizen en zo mogelijk grotere zoogdieren

voor de produktie op grote schaal van recombinante eiwitten komt hiermee in het vooruitzicht.

De onderzoekers construeerden eerst een hybride DNA-fragment, bestaande uit een stukje van het gen voor wei-eiwit en het menselijk gen voor t-PA. Dit DNA werd geïnjecteerd in bevruchte muizecellen, die dan ingeplant werden in gastmoeders. Het vreemde DNA-fragment integreerde in een aantal gevallen in het DNA van de cel en werd bij de celdeling mee overgedragen met de rest van de genetische informatie.

De aanmaak van wei-eiwit geschiedt uitsluitend in de borstklier gedurende de zoogperiode, onder invloed van hormonale regulatie. Men verwachtte dat de aanwezigheid van het stukje van het gen voor het wei-eiwit in de volwassen transgene muizen zou leiden tot de produktie van menselijk t-PA in de borstklier in de zoogperiode en ook in de melk afgescheiden zou worden. De verwachting kwam uit: een stabiele vorm van biologisch actief menselijk t-PA werd aangetroffen in de melk van de wijfjes. De concentratie schommelde sterk van muis tot muis, met een maximum van een halve microgram per milliliter melk.

Aangezien het vreemde DNA-fragment stabiel geïntegreerd is in de genetische informatie, kan verwacht worden dat de afstammelings van de originele transgene muizen ook menselijk t-PA in hun melk afscheiden, maar dit werd nog niet bewezen.

t-PA, een natuurlijk eiwit in het bloed, activeert een enzym dat fibrine, het materiaal waaruit een bloedklonter is opgebouwd, afbreekt. Dr. Désiré Collen (K.U. Leuven) beschreef t-PA enkele jaren geleden en toonde aan dat intraveneuze toediening van t-PA een bloedklonter in een kran-



slagader van het hart — de meest frequente oorzaak van een hartinfarct — snel en veilig kan oplossen.

t-PA werd recent in een aantal Europese landen en het Verre Oosten op de markt gebracht door Boehringer Ingelheim. De langverwachte goedkeuring voor verkoop van het geneesmiddel in de Verenigde Staten werd in november verkregen door het Amerikaanse biotechnologiebedrijf Genentech. Verwacht wordt dat de omzet alleen al in de Verenigde Staten over afzienbare tijd één miljard dollar per jaar zal bedragen. t-PA wordt dan ook beschouwd als de eerste belangrijke toepassing van de recombinant-DNA-technologie in de geneeskunde (de nood aan recombinant insuline en groeihormoon is in vergelijking minimaal). Nadeel is de hoge kostprijs: tweeduizend dollar voor de behandeling van een hartinfarct. Het is dan ook niet te verwonderen dat talrijke bedrijven op zoek zijn naar goedkopere produktiemethoden of naar meer actieve t-PA-varianten.

Recombinant t-PA wordt thans geproduceerd in zoogdiercellen in cultuur. Aanwending van groot-schalige produktiemethoden zoals deze transgene muizen, zou kunnen leiden tot nagenoeg ongelimiteerde hoeveelheden en bijgevolg de kostprijs sterk kunnen verlagen.

In een verdere toekomst hoopt men de transgene techniek industrieel toe te passen op grote boerderijdieren. Transgene konijnen, schapen en varkens werden in 1985 door Palmiter en Brinster geproduceerd, en experimenten met transgene koeien zijn gaande. Het zal evenwel nog een tijdje duren vooraleer de transgenische techniek zijn ingang zal vinden in de farmaceutische industrie.

dr Peter Mombaerts
M.I.T., Dept. of Biology
Cambridge, USA

Lijkwade van Turijn

Een stuk textiel van 4,5 m lang en 1,1 m breed houdt de gemoederen van enkele onderzoekers en van een aantal Rooms-katholieke geestelijken al geruime tijd bezig. Het gaat hier om een doek, bekend als de Lijkwade van Turijn, waarop de afbeelding van een lijk te zien is. Lichaamsstoffen uit een dode hebben zulke sporen achtergelaten dat er een afdruk te zien is. Er zijn aanwijzingen dat het gaat om een gekruisigde die een doornenkroon droeg. Sommigen vinden dat het de lijkwade is waarin Christus is gewikkeld toen hij van het kruis genomen werd en waarin hij de drie dagen voor zijn wederopstanding heeft gelegen. Er zijn ook mensen die geloven dat de afbeelding is ontstaan tijdens de enorme energie-uitbarsting die heeft plaatsgehad op het moment dat Christus weer tot leven kwam.

Eerder non-destructief onderzoek (Natuur & Techniek no. 2/1981) heeft geen definitief uitsluitsel gegeven. Er is daarom grote behoefte aan een datering van het textiel. Wanneer een datering rond het jaar 0 uitkomt bestaat natuurlijk nog steeds geen zekerheid, want er zijn in Christus' tijd duizenden mensen gekruisigd; het was een vrij normale vorm van doodstraf.

Al enkele jaren debatteert men nu over vragen als: mag van zo'n relik een stukje geofferd worden voor gebruik in de laboratoria en zo ja, wie mag het onderzoek uitvoeren?

Na onderhandelingen tussen geleerden en afgevaardigden van de wereldkerk werd in 1986 een overeenkomst over een uitgebreid protocol gesloten waarin precies stond hoe en waar het onderzoek zou plaatsvinden. De manier van monsternamen, het vervoer, de methoden, de laboratoria en het terugbrengen van de resten van de analyse waren geregeld. Zeven

laboratoria zouden een analyse uitvoeren. Zes daarvan zouden een stukje van de lijkwade krijgen; één, maar bijna niemand zou natuurlijk weten welk, laboratorium zou een placebo ontvangen. Daarnaast zouden er twee controlemonsters meekomen.

Het Vaticaan besloot echter zonder nader overleg om vier van de zeven laboratoria te schrappen en slechts drie monsters te laten onderzoeken. De directeuren van de drie aangewezen labs hebben laten weten te aarzelen over hun verdere medewerking. De kans op een menselijke fout zou te groot worden en als er van drie metingen één afwijkt zou het hele onderzoek als slecht worden gekwalificeerd. De vier afgewezen labs hebben zich natuurlijk ook geroerd: het onderzoek had hen ongetwijfeld de nodige publiciteit opgeleverd en dat is nooit weg in deze tijden waarin laboratoria met routinetechnieken in huis steeds afhankelijker worden van externe financiers.

Over de gronden van het Vaticaan tast men in het duister. Een gerenommeerd Engels lab, dat meer koolstofdateringen heeft verricht dan de andere zes bij elkaar, werd afgeschreven, terwijl ook het oorspronkelijke idee om twee analysemethoden te gebruiken is verlaten. Het lijkt erop dat de keus in het Vaticaan niet op wetenschappelijke gronden is gemaakt.

Er zou onlangs overleg plaats hebben tussen de drie directeuren en een vertegenwoordiger van het Vaticaan, maar ook het doorgaan daarvan was nog onzeker, omdat de voorwaarden voor het begin van het gesprek nogal ver uiteen lagen. Het Vaticaan wilde alleen praten als de drie directeuren zouden toezeggen het onderzoek uit te voeren, maar de directeuren willen het werk alleen doen als ze tevreden zijn over het protocol, en daarover wilden ze nu juist praten.

(New Scientist)

Plasticoppervlak

Kunststoffen komen steeds vaker in contact met de huid en andere delen van levende wezens. Cellen, eiwitten, vetten en suikers reageren heel verschillend op die oppervlakten. Soms veroorzaakt zo'n kunststof ongemak, maar wordt toch toegepast omdat de voordelen kennelijk groter zijn dan de nadelen.

Op de delen van pacemakers die zich in de bloedbaan bevinden zet zich een laagje eiwitten af, wat weer aanleiding kan geven tot bloedklonters. Contactlenzen zijn een ander voorbeeld: eiwitten uit het traanvocht hechten op het oppervlak van de lensmaterialen, vooral op dat van de modernere typen lens. In deze *Natuur & Techniek* staat daarover meer in het artikel van Beekhuis en Van Nes op pag. 86-98. Regelmatig moeten contactlensdragers hun lenzen zo schoonmaken dat ook de eiwitaanslag op de lenzen weer verdwijnt.

Onderzoekers in verschillende Europese landen proberen plasticoppervlak nu zo te veranderen dat er geen problemen meer ont-

staan met de lichaamstoffen. De EG subsidieert het onderzoek in het kader van het BRITE-project, dat is gestart om universitair onderzoek naar commerciële toepassingen te geleiden.

Het probleem wordt op twee manieren aangepakt. Ofwel men probeert het oppervlak van de kunststof chemisch zo aan te passen dat lichaamstoffen niet meer hechten, ofwel men probeert juist de vorming van een gewenst laagje lichaamstoffen te bevorderen, waardoor een stabiele situatie kan ontstaan.

De Britse firma Biocompatible probeert de eerste manier. De onderzoekers van de onderneming hebben al experimentele contactlenzen gemaakt met oppervlakken die lijken op membranen.

Sommige eiwitten hechten daar aan, maar juist niet de eiwitten die in waterige oplossingen in het lichaam voorkomen. De eiwitten in het traanvocht binden dus niet aan membraanoppervlakken.

Contactlensfabrikanten zien deze materialen graag beschikbaar komen omdat ze de contactlens mogelijk maken die dagenlang gedragen kan worden. Membraanoppervlakken bestaan voor een groot deel uit fosfolipiden, lange

koolstofketens met een fosfaatgroep aan een uiteinde. Het Britse bedrijf is er nu in geslaagd een fosfolipide chemisch aan polyester, polyurethaan en aan siliconen bevattende plastics te hechten. Vooral dat laatste is van belang voor de contactlensfabrikant omdat de goed zuurstofdoorlatende lenzen van zulke materialen zijn gemaakt.

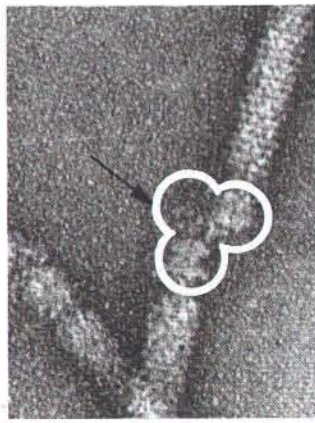
De gelijkenis met een natuurlijk membraan zou nog verbeterd kunnen worden wanneer ook enkele suikers en eiwitten, die normaal in het membraan gebonden zijn, aan het oppervlak zouden worden vastgezet.

Deze materialen zijn, zoals gezegd, ontworpen om zo weinig mogelijk stoffen aan het oppervlak te laten hechten. De andere methode bestaat eruit juist een bepaald type cellen goed aan de kunststof te binden, zodat het oppervlak zich als een natuurlijk materiaal gedraagt. Een groep Duitse onderzoekers in Aken bindt een bepaald type eiwit aan plastic, waaraan dan weer endotheelcellen hechten die normaal de wanden van bloedvaten vormen.

(*New Scientist*)

Rectificatie

In het decembernummer van *Natuur & Techniek* is bij het artikel over de Nobelprijswinnaar Tonegawa een elektronenmicroscopische opname van een antilichaam gepubliceerd. In het bijchrift daarbij is een fout gemaakt, die het resultaat is van een verkeerde interpretatie van de foto. Van daar dat we hem hierbij nog eens afdrukken, waarbij het antilichaam is ingekleurd. Deze unieke foto is gemaakt door dr R.A. Friedonks, die hem maakte in het Biozentrum van de Universitat Basel.



In het decembernummer werd gesuggereerd dat het antilichaam groter is dan in werkelijkheid het geval is (foto rechts). De foto links toont de werkelijke afmeting.

Onder redactie van ir. S. Rozendaal.

Als twee druppels water

Simon Rozendaal

Aan de universiteit van Minnesota in de Amerikaanse stad Minneapolis vindt een opzienbarend onderzoek plaats. Als sinds 1979 bestudeert een team van onderzoekers tweelingen die gescheiden zijn opgegroeid. Zo'n achttien specialisten (psychologen, psychiaters, genetici, artsen, tandartsen) keren de tweelingen binnenste buiten en vragen ze het hemd van het lijf.

Nu zijn psychologen al bijna een eeuw lang verzot op tweelingen maar nooit hebben ze een zo groot en diepgravend tweelingenonderzoek opgezet. Enkele honderden tweelingen die samen zijn opgegroeid zijn door de groep onder leiding van Thomas Bouchard bestudeerd. Het opzienbarende van het Amerikaanse onderzoek is echter dat er ook eenenige tweelingen worden onderzocht die in verschillende gezinnen zijn opgegroeid.

Zo rond de Tweede Wereldoorlog zijn er in tal van landen nogal wat kinderen, waaronder eenenige tweelingen ter adoptie aangeboden. Het wetenschappelijk hoogst interessante hiervan is dat daarmee een experiment is geschapen waarbij elke psycholoog zijn vingers aflikt. Eenenige tweelingen hebben namelijk honderd procent hetzelfde genetische erfgoed. Een eenenige

tweeling ontstaat immers als een bevruchte eicel zich deelt in twee cellen die ieder een eigen individu vormen.

Men zou met enige overdrijving een eenenige tweelingbroer of zus zelfs een afsplitsing, een kloon, kunnen noemen. Wanneer men een eenenige tweeling na de geboorte scheidt en voor adoptie aanbiedt worden ze in een verschillende omgeving grootgebracht. Aldus (in theorie althans) ontstaat er een volmaakte scheiding tussen de invloed van de erfelijkheid en die van de opvoeding. Zou men een gescheiden eenenige tweeling na een jaar of dertig à veertig onderzoeken en zou bijvoorbeeld blijken dat hun intelligentie exact hetzelfde is, dan heeft men een sterk argu-

ment voor de redenering dat intelligentie erfelijk bepaald is.

Het bijzondere van deze gescheiden opgegroeide tweelingen is ook dat men in het dagelijks leven nooit in staat is om erfelijkheid en omgevingsinvloed ('nature' en 'nurture') te scheiden. Zo constateert men wel eens dat kinderen van ouders die het redelijk ver hebben geschopt in de samenleving goed kunnen leren op school en op hun beurt ook redelijke banen krijgen. Uit deze observatie valt echter nauwelijks iets te concluderen. Men kan net zo goed zeggen dat de kinderen hun talenten van hun ouders hebben geërfd, als dat ze zo goed kunnen leren omdat ze opgegroeiden in een milieu waar





De tweeling linksonder groeide samen op, het duo hiernaast niet. Toch zijn de overeenkomsten opvallend.

leren werd gewaardeerd, waar een grote woordenschat werd gebezigd, enzovoort. De invloed van het bloed (de erfelijkheid) en van de opvoeding valt nooit te scheiden.

Behalve dan bij gescheiden opgegroeide eeneiige tweelingen. Het probleem is echter dat er daar maar heel weinig van zijn. Sinds de jaren vijftig scheidt men tweelingen vrijwel nergens in de westerse wereld nog, om voor de hand liggende sociale en ethische redenen. En de tweelingen die voor die tijd zijn gescheiden zijn heel moeilijk op te sporen. Men moet daarvoor in adoptie- en bevolkingsregisters duiken. Heel soms ontdekt de omgeving een gescheiden eeneiige tweeling. Zo werd Jerry Levey eens in een kroeg, na een vergadering van brandweerlieden, aangesproken door iemand die aan hem vroeg of hij een tweelingbroer had. Levey, commandant van de vrijwillige brandweer in een dorpje in New Jersey, verzekerde hem dat dit niet zo was maar de man hield vol dat hij iemand kende, toevallig ook brandweercommandant, die als twee druppels water op Levey leek. Levey lachte om de man met een

biertje in zijn hand (dat hij op een wat vreemde manier beet-hield, met zijn pink onder het flesje). 's Avonds belde de man hem terug en zei dat hij bij zijn vriend had gecontroleerd wanneer deze geboren was: 15 april 1954. Precies de

Van een brandweergen heeft tot op heden geen enkele geneticus gehoord

dag waarop Levey was geboren. Net als Jerry Levey was zijn eeneiige tweelingbroer Mark Newman voor adoptie aangeboden. Beiden wisten dat ze geadopteerd waren maar niet dat ze een tweelingbroer hadden.

Soms ook worden de gescheiden tweelingen bij elkaar gebracht door iemand die daar een sport van maakt. Zo iemand is de Britse sociaal werker John Stroud die al sinds 1960 als een ware privé-detective in Engeland meer dan 25 gescheiden tweelingparen opspoorde en samenbracht.

Vrijwel alle ontdekte gescheiden tweelingparen worden in

Minnesota onderzocht. Op kosten van de universiteit van Minnesota worden de tweelingparen vergast op een weekje Minneapolis. In die week worden ze behangen met elektrodes, thermometers en tal van andere instrumenten. Ze moeten niet minder dan 15 000 vragen beantwoorden en reeksen van proeven ondergaan.

Hoeveel gescheiden eeneiige tweelingparen tot de verzameling van Bouchard behoren is niet duidelijk maar het zijn er meer dan ooit in de geschiedenis zijn onderzocht. In wetenschappelijke publikaties heeft de groep Bouchard (waartoe ook de geëmigreerde Nederlandse psycholoog Auke Tellen behoort) het over 44 paren. Er schijnen inmiddels echter veel meer tweelingparen onderzocht te zijn, naar verluidt 77 gescheiden tweelingparen en vier gescheiden drielingtrio's.

II Het brandweergen II

De resultaten zijn fascinerend. Neem Jerry Levey en Mark Newman. De een was een paar kilo zwaarder dan de ander, maar verder waren ze sprekend hetzelfde. Nu is dat

bij eenenige tweelingen vaak zo, maar Jerry Levey en Mark Newman bleken toen ze elkaar na ruim dertig jaar voor het eerst tegenkwamen dezelfde snor te hebben, dezelfde bakkebaarden, dezelfde bril, ze waren allebei vrijgezel, maakten dezelfde rauwe grappen, dronken Budweiserbier en hadden daarbij dezelfde drinktechniek (pink onder de fles) en waren beiden in de brandweer gekomen.

Nu is dit eigenlijk onbegrijpelijk. Erfelijkheid heeft met DNA-molekulen te maken, zoals de lezers van dit blad ongetwijfeld weten. Op zo'n DNA-molekuul ligt de informatie voor het maken van eiwitten opgeslagen. Nu kan men zich nog redelijk goed voorstellen dat er eiwitten aan te pas komen bij het bepalen van de oogkleur, maar hoe kan het hebben van een snor iets met een DNA-molekuul hebben te maken? En van een brandweergeen heeft tot heden ook geen enkele geneticus gehoord en niemand verwacht dat een dergelijke gen in de toekomst gevonden zal worden.

Bij vrijwel alle gescheiden tweelingparen die elkaar in Minneapolis weer troffen kwam men dit soort bizarre overeenkomsten tegen. De een had zijn kinderen Richard Andrew en Karen Louise genoemd, de andere Andrew Richard en Catherine Louise. Er was zelfs een tweelingpaar waarvan de een als jood en de ander als nazi was opgegroeid, maar die allebei de curieuze gewoonten hadden om de wc door te trekken voor ze er gebruik van maakten en er een onbegrijpelijk genoegen in hadden om in een volle lift net te doen alsof ze niesten. Weer een ander tweelingpaar had op exact dezelfde leeftijd hernia gekregen.

De eerlijkheid gebiedt te mel-

den dat er ook tegenvoorbeelden zijn. Er is in Minneapolis ook een tweelingpaar onderzocht waarvan de ene helft ondergebracht was bij een niet-muzikale familie, maar desalniettemin een piano-

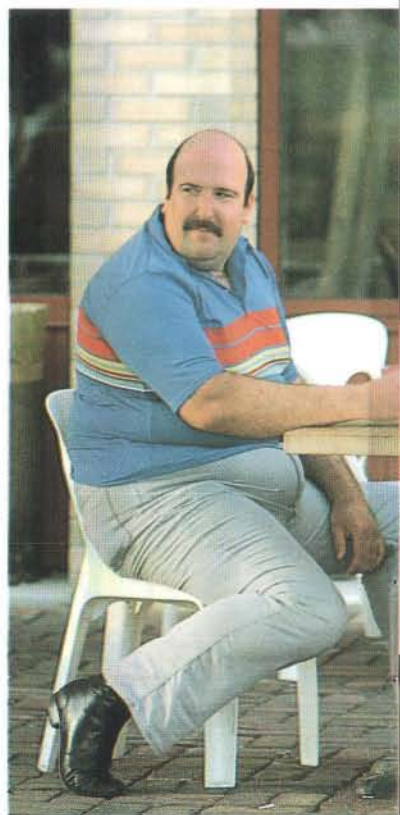
Ook kenmerken als gevoel voor orde, leiderschapskwaliteiten en prestatiedwang zouden via het bloed overerven

speelster van professioneel niveau werd terwijl de tweelingzus geadopteerd werd door een pianolaar maar zelf geen piano speelt.

Desalniettemin zijn de overeenkomsten overweldigend al kan men natuurlijk geen solide theorie op dergelijke parallellen gaseren. Het bijzondere van het Minneapolis-onderzoek is dat men bij tal van menselijke kenmerken geprobeerd heeft om zo nauwkeurig mogelijk de invloeden van erfelijkheid en van omgeving uit te splitsen. Dat kon door de gescheiden eenenige tweelingen te vergelijken met eenenige tweelingen die gezamenlijk zijn opgegroeid met gewone broers en zussen.

Een voorbeeld: het team van de universiteit van Minnesota mat de lengte van hun proefpersonen. Omdat eenenige tweelingen hetzelfde genetische materiaal hebben moet een lengteverschil dus wel door de invloed van de omgeving (bijvoorbeeld het voedsel) ontstaan. Zou de erfelijkheid helemaal geen rol spelen, dan zou er geen overeenkomst zijn. De lengte van de gescheiden opgroeiende tweelingen blijkt nu voor 90 procent overeen te komen. Ofwel: negentig procent van de lengte-

verschillen tussen mensen hebben een erfelijke oorzaak en maar tien procent komt door de omgevingsinvloeden. Die tien procent kan nog weer verder worden opgesplitst: zo komt de lengte bij samen opgroeiende eenenige tweelingen voor 94 procent overeen. De omgeving die de eenenige tweelingen in hetzelfde gezin delen voegt dus nog zo'n vier procent toe. Opmerkelijk overigens is dat het geen tien procent is. Klaarblijkelijk blijven er altijd verschillen tussen het ene kind en het andere. Kinderen proberen zich van elkaar te onderscheiden, zelfs als ze vrijwel identiek zijn zoals bij eenenige tweelingen. Bijvoorbeeld door veel te eten wanneer de ouders bewonderend tegen één van de



twee kinderen zeggen: "goh, wat eet jij goed." Of door extra hun best te doen met voetballen sinds ze toevallig eens tijdens een wedstrijd een bal precies in de uiterste hoek schoten. Door dit soort gebeurtenissen kunnen vrijwel identieke individuen zich toch anders ontwikkelen, zo redeneert men in Minneapolis, en dat kan voor de overblijvende zes procent verschil in lengte zorg dragen.

Het opmerkelijke van de Amerikaanse bevindingen is echter niet zo zeer de conclusie dat lichamelijke eigenschappen zoals lengte voor een belangrijk deel erfelijk bepaald zijn, ook tal van psychologische kenmerken hebben volgens de onderzoekers een heel sterkte genetische

component. Zaken zoals de voorkeur voor bakkebaarden of een snor, de namen die men voor zijn of haar kinderen uitkiest, welke humor men op prijs stelt, of men de wc alleen na gebruik of ook van tevoren doortrekt, hoeveel ringen men aan zijn of haar vingers draagt – al dit soort eigenschappen en gedragingen hebben volgens de onderzoekers in Minneapolis ook erfelijke kanten.

Heel omstreken is natuurlijk altijd de intelligentie – gemeten in een al even omstreken maat, het intelligentiequotiënt of IQ. De observaties in Minneapolis zijn dat het IQ van eenige tweelingen die samen opgroeien voor 86 procent overeenkomt, wanneer ze gescheiden opgroeien is dit

72 procent, bij gewone broers en zussen is het 60 procent en bij geadopteerde broertjes en zusjes maar 32 procent. Ofwel: het grootste deel van verschillen in intelligentie is erfelijk bepaald.

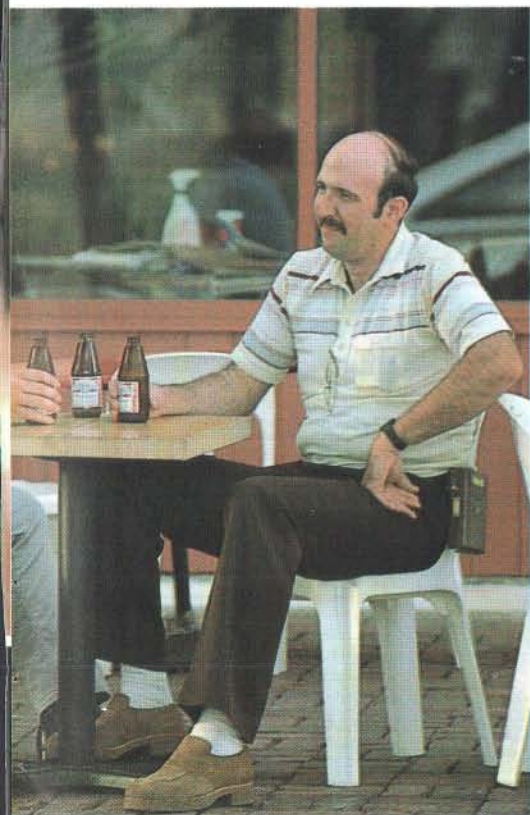
Het wordt nog heikeler: de Amerikaanse onderzoekers hebben ook naar kenmerken zoals gevoel voor orde, leiderschapskwaliteiten, politieke voorkeuren, agressiviteit, prestatiedwang en reactie op stress gekeken en concluderen dat ook daar de eigenschappen van de ouders via het bloed worden overgegeven op de kinderen. Wel is de genetische invloed hier minder sterk.

Een laatste detail tenslotte over het Minneapolis-onderzoek is dat de onderzoekers in kwestie hun best doen om zich zo genuanceerd mogelijk uit te laten. Vooral het afgelopen jaar is de Bouchard-groep regelmatig in de publiciteit geweest omdat sommige onderzoeksresultaten het moment van wetenschappelijke rijpheid en dus publikatie naderen.

Wie de uitspraken van de teamleden leest, krijgt niet de indruk met rabiate aanhangers van de opvatting dat alles erfelijk is, te maken hebben. Zo benadrukt psychologe Nancy Segal in het blad *Discover*: "We zeggen niet dat negentig procent van uw lengte door genetische factoren wordt bepaald en de andere tien procent door de omgeving. Die verhouding slaat op een grote groep mensen, niet op een enkel individu". En teamleider Bouchard liet zich in de Engelse krant *The Times* heel voorzichtig uit naar aanleiding van de vraag of zijn onderzoeksresultaten enig nut hadden voor het sociaal beleid in een land: "We willen toch niet dat iedereen het zelfde is, nietwaar?"

II

Jerry Levey en Mark Newman; hetzelfde uiterlijk, hetzelfde beroep, hetzelfde bier.
(Foto: Arnold Zann/Transworld Features, Holland, Haarlem).



psycholoog **contra** psycholoog

“ Tweelingonderzoek heeft niets met nazisymphathieën te maken ”

Simon Rozendaal

“Het er bij halen van nazi-theorieën vind ik onzindelijk van Piet Vroon. Wat is er nu voor ergs aan dit onderzoek?” Prof dr J.F. Orlebeke is verontwaardigd. In november becommentarieerde de Utrechtse hoogleraar dr P.A. Vroon in deze rubriek het tweelingonderzoek dat op een aantal plaatsen in de wereld, waaronder Minneapolis (zie het voorgaande artikel) geschiedt.

In een interview plaatste Vroon, net als Orlebeke hoogleraar psychologie en beiden tot de categorie ‘harde psychologen’ (met natuurwetenschappelijke oriëntatie) behorend, kritische kanttekeningen bij de huidige belangstelling voor het tweelingonderzoek.

Volgens Vroon (in het artikel ‘De pendel van het determinisme’) is er een golfbeweging. Soms heeft gedurende een aantal jaren de opvatting de overhand dat de mens vooral bepaald wordt door zijn sociale omgeving en in andere perioden is het weer ‘in’ om te denken dat een mens erfelijk voorbeschikt is. Volgens Vroon leven we nu weer in een periode waar het modieus is om aan genetische bepaaldheid van tal van eigenschappen te werken.

Vroon betwijfelt echter de wetenschappelijke waarde van dergelijk onderzoek. Hij vindt dat er nauwelijks goede methoden bestaan in de psychologie om persoonlijk-

heidseigenschappen te meten. Hij vindt ook dat het wetenschappelijk weinig zin heeft om de genetische bepaaldheid van gedrag en persoonlijkheid te bepalen want “je kunt er niks mee”.

Om treffende voorbeelden van de overeenkomsten in het gedrag tussen eenenige tweelingen die vlak na de geboorte zijn gescheiden, kan Vroon ook slechts grinniken. Hij zei dat het hem ook wel eens is overkomen met iemand die geen familie van hem was dat deze sprekend op hem leek, ook een bril had met glazen van min drie en in een gesprek de zinnen afmaakte die Vroon begon. Ook stelde Vroon dat het tweelingonderzoek past in een denkrichting over evolutie en genetica die in het recente verleden heeft geleid tot nazistische opvattingen over erfelijk bepaalde verschillen tussen het ene ras en het andere.

Dit alles is nu bij prof. Co Orlebeke in het verkeerde keelgat geschoten. Orlebeke doet zelf tweelingonderzoek op de Vrije Universiteit in Amsterdam, kent de onderzoekers in Minneapolis (met name Bouchard en Tellegen) persoonlijk en staat in voor de betrouwbaarheid van het onderzoek en voor de eerlijkheid van de onderzoekers.

Orlebeke: “Vroon zegt ‘so what’ bij de uitkomsten van dergelijk onderzoek. Dat nu is absurd. Je kunt bij iedere wetenschappelijke vraag wel



stellen dat het antwoord zinloos is. Dan kun je beter met wetenschap ophouden. Het is toch verschrikkelijk interessant om bijvoorbeeld bij ziektes te weten welke rol de externe omgeving speelt en of een verandering van de omgeving in principe invloed kan hebben?”

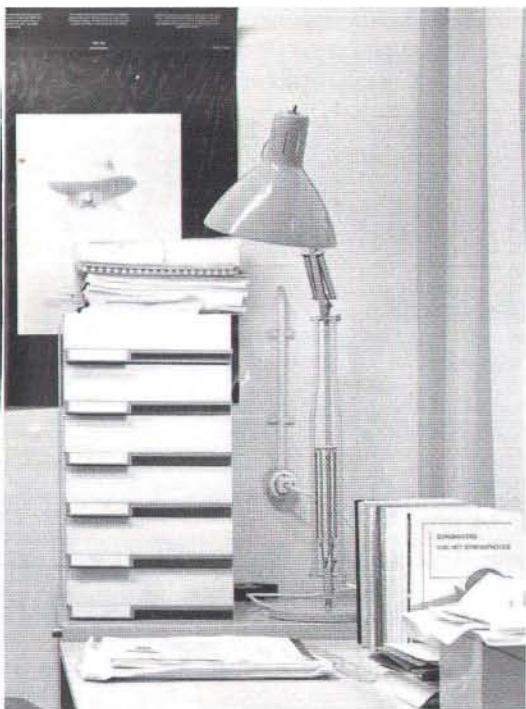
Het enige punt waar Orlebeke het met Vroon in het interview in Natuur & Techniek eens is, is dat er sprake is van een modeverschijnsel. “In de jaren zestig en zeventig was de

heersende opvatting dat menselijk gedrag aangeleerd is. Dat paste ook mooi bij het sociale ideaal van gelijkheid. Ongelijkheid kwam door een verkeerde inrichting van de samenleving. In die tijd was de gedachte dat mensen ongelijk geboren zouden worden verdacht." Dat laatste heeft

kunt nooit zeggen: hier houdt de erfelijkheid op en begint de omgevingsinvloed. Het blijft een *black box* en je zult het moeten doen met schattingen van de genetische en van de omgevingsfactor."

Daarom echter is het onderzoek aan de universiteit van Minnesota zo bijzonder, zegt

**Psychologie-
professor Orlebeke**
(Foto: Bob Brons-
hoff/Hollandse
Hoogte, Amster-
dam).



Orlebeke aan den lijve ondervonden. Hij herinnert zich nog als de dag van gisteren de discussies voor volle zalen opstandige studenten waar een ieder die durfde te suggereren dat intelligentie ook erfelijk werd bepaald volledig werd weggefloten.

Orlebeke geeft toe dat de *nature-nurture* discussie vaak enigszins onzinnig is omdat het moeilijk is om de twee zaken te ontwarren. "Je meet bij een mens altijd aan de buitenkant, het *fenotype*, en je

Orlebeke. Want bij eenenige gescheiden opgroeiende tweelingen kun je de erfelijkheidsinvloed en de invloed van de omgeving wel scheiden. "Als eenenige tweelingen uit elkaar zijn gehaald houd je de pure erfelijkheid over. Overeenkomsten moeten dan wel genetisch bepaald zijn".

Orlebeke erkent dat er kanttekeningen te maken zijn bij het onderzoek aan gescheiden opgroeiende eenenige tweelingen, zelfs bij het uitgebreide en diepgravende onderzoek in

Minneapolis. Bouchard en zijn collega's komen tot sommige conclusies op basis van een onderzoek van 44 gescheiden tweelingparen. Dat is wel meer dan in het verleden, maar misschien toch niet genoeg om harde uitspraken te doen. Die opmerking gaat Orlebeke te ver. "Ik denk niet dat 44 te weinig is om uitspraken te doen over de erfelijkheid van bijvoorbeeld intelligentie. Gescheiden eenenige tweelingen zijn zo'n ideale onderzoeksgroep."

Een andere potentieel zwakke plek in dergelijk onderzoek is de leeftijd waarop de tweelingen worden gescheiden. In de meeste gevallen zijn de tweelingen al enkele weken na de geboorte gescheiden en is er dus nauwelijks tot geen gemeenschappelijke omgevingsinvloed geweest, maar soms zijn de tweelingen langer bij elkaar geweest voor de scheiding. "Dat zou je misschien de achilleshiel van Bouchards onderzoek kunnen noemen. Soms zijn de kinderen voor hun scheiding enkele jaren bij elkaar geweest. Toch denk ik niet dat het de resultaten van Bouchard vertekent. Ik zeg dat ook omdat ik weet dat het om uiterst deskundige mensen gaat in Minneapolis."

II Leiderschap II

Orlebekes groep waarin onderzoekster Dorette Boomsma in de tweelingresearch is gespecialiseerd, onderzoekt lichamelijke factoren, zoals de hoeveelheid cholesterol in het bloed van tweelingen. Lichaamelijk onderzoek doet men in Minneapolis ook, maar daar bekijkt men bovendien tal van persoonlijkheidskenmerken tot en met zaken als de gevoeligheid voor orde, leiderschap en de politieke voorkeuren.

Terwijl bij lichamelijke facto-

ren zoals lengte, de invloed van erfelijkheid dat van de omgeving ver overtreft, vinden Bouchard en zijn medewerkers voor die psychologische kenmerken veelal een invloed van erfelijkheid van rond de vijftig procent (rond de zestig procent voor intelligentie).

Dat ligt voor de hand zegt Orlebeke: "Hoe verder je in de hiërarchie van biologische onderdelen tot een zedelijk ethisch wezen opstijgt hoe minder belangrijk de rol van de erfelijkheid wordt." Desalniettemin is ook hij verrast dat de groep van Bouchard ook erfelijke invloed vindt bij zaken als politieke overtuiging. "Dat zou ik niet bij voorbaat hebben gedacht, dat erfelijkheid ook daar invloed op heeft. Het zou bij nader inzien natuurlijk wel kunnen. Politiek overtuiging heeft ook met persoonlijkheid te maken en je persoonlijkheid is deels

erfelijk bepaald. Wel is het natuurlijk bij conclusies over politieke opvattingen heel belangrijk dat de onderzoekers zich ervan overtuigen dat er niet al te veel overeenkomsten zijn tussen adoptiegezinnen. Het kan op papier natuurlijk best dat ouders die geadopteerde kinderen willen bepalen de politieke opvattingen hebben en op die kinderen overdragen."

Vroon bekritiseerde ook de resultaten van het tweelingonderzoek omdat het volgens hem nog steeds niet verantwoord mogelijk is om persoonlijkheidskenmerken te meten. Ook daar is Orlebeke het niet mee eens. "Neem een intelligentietest. Dat is niet 'n simpel proefje. Achter dat ene getal voor een IQ liggen een stuk of tien factoren die op statistisch betrouwbare wijze worden bepaald. Het IQ, mits bepaald met een goede test, is een betrouwbaar gegeven."

Orlebeke wijst er op dat steeds meer aspecten van intelligentie natuurwetenschappelijk nauwkeurig kunnen worden bepaald. "Zo kun je de snelheid waarmee iemand in zijn geheugen iets kan terugvinden doelgericht bestuderen. Je laat iemand een aantal plaatjes zien en vraagt of een nieuw plaatje tot de

Een aantal jaren geleden was het verdacht om te stellen dat mensen ongelijk waren geboren

eerste groep behoorde. De zoektijd blijkt dan wiskundig nauwkeurig toe te nemen met de omvang van het setje plaatjes dat de proefpersoon moet onthouden. Bovendien kun je de zoektijd in de hersenen nog eens scheiden van de spiertijd, nodig om op de knoppen te drukken, en de zintuigtijd. Daar bestaan goede analysetechnieken voor." Kortom, de psychologie is niet zo machteloos als Vroon beweert.

Zoals gezegd, stoorde Orlebeke zich het meest aan de suggestie van Vroon dat er verband is tussen het doen van tweelingonderzoek en nazi-sympathieën. Feitelijk overigens heeft Vroon niet helemaal ongelijk; het verleden van het tweelingonderzoek is inderdaad niet vrij van smetten. In een boek dat Orlebeke mij na afloop van het gesprek meegeeft ter lezing ('Zwillinge' van Walter Friedrich) staan verschillende voorbeelden hiervan. De eerste onderzoeker bijvoorbeeld die er op wees dat tweelingonderzoek wetenschappelijk zo interessant was, was de Engelsman Francis Galton, die ook be-



Ook aan de Amsterdamse Vrije Universiteit wordt tweelingonderzoek gedaan. Hier enkele deelnemers.

schouwd wordt als de stichter van de eugenetica. Deze leer over erfelijke verschillen tussen mensen werd in de jaren dertig populair in Duitsland. Zo verschenen er tal van artikelen in de populaire Duitse pers in het Hitler-tijdperk over tweelingen. Duitse tweelingonderzoekers uit de jaren dertig, als O. v. Verschuer, staken hun opvattingen over meerwaardige en minderwaardige rassen (germanen versus joden vooral) niet onder stoelen en banken, zo schrijft Friedrich in zijn boek over tweelingonderzoek.

Ook heeft de beruchte kamparts in Auschwitz, Josef Mengele, de nodige experimenten op tweelingen gedaan. Eigenhandig haalde Mengele de tweelingen uit nieuwwaangekomenen in dit concentratiekamp en besmette ze dan bijvoorbeeld met de tyfusbaci om nauwgezet te bestuderen welke de overeenkomsten waren in de wijze waarop de tweelinghelften aan de ziekte ten onder gingen.

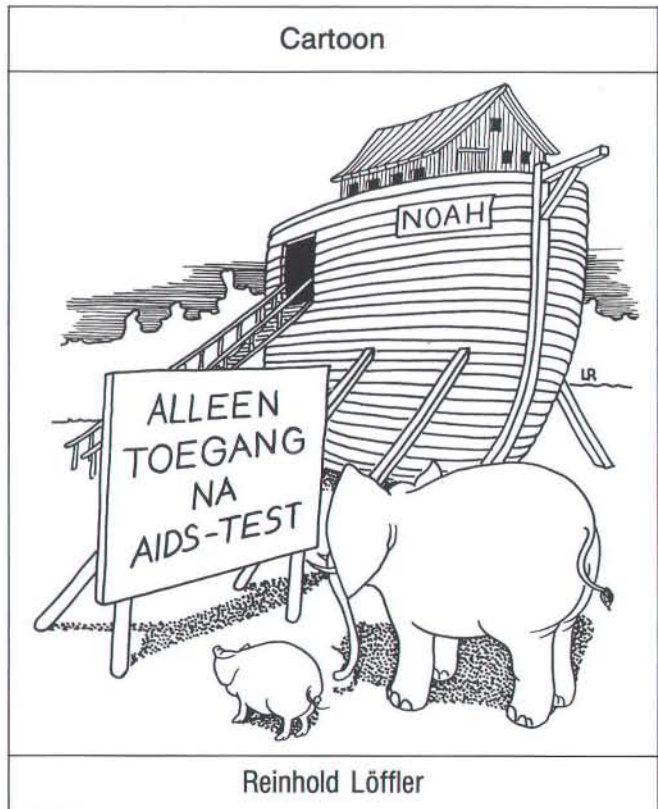
Ook na de tweede wereldoorlog bleef het tweelingonderzoek omstreken, zo schrijft de Oostduitse hoogleraar psychologie Friedrich. Van de beroemde psycholoog Cyril Burt is het inmiddels bekend dat deze om resultaten te krijgen die zijn opvatting van de rol van erfelijkheid ondersteunden er niet voor terugschrok onderzoeksresultaten uit zijn duim te zuigen. Zo heeft Burt waarschijnlijk fictieve gescheiden opgroeiende eeniige tweelingen in zijn wetenschappelijke artikelen opgevoerd. Orlebeke is zich hier natuurlijk van bewust maar vindt dat deze voorvallen los staan van het huidige tweelingonderzoek. "Burt bijvoorbeeld was een bijzonder geval van de algemene wetenschappelijke kwaal dat onderzoekers nu eenmaal heel graag

hun hypothesen bevestigd willen zien. De mensen die nu bij het tweelingonderzoek zijn betrokken zijn objectief geïnteresseerd naar de vraag welke rol erfelijkheid speelt. Als je dat aan nazisymptieën koppelt maak je dit onderzoek verdacht terwijl het wetenschappelijk zeer legitiem is om je deze vragen te stellen." Het gaat er volgens Orlebeke vooral om wat je met de onderzoeksresultaten doet. Hoogstens kun je accenten in het overheidsbeleid verleggen. Als je bijvoorbeeld vindt dat een hoog cholesterolgehalte in het bloed sterk erfelijk bepaald wordt (en Orlebeke sluit niet uit dat zijn eigen tweelingonderzoek die kant uit gaat) dan kun je vragen stellen bij het huidige sterke

accent dat er bij de preventie van hart- en vaatziekten aan voeding wordt toegekend.

Helemaal het roer omgooien mag je echter nooit. "Zelfs al vind je van een bepaalde eigenschap dat die helemaal erfelijk is bepaald, dan nog speelt de omgeving altijd een belangrijke rol. Neem kinderen met de erfelijke stofwisselingsziekte PKU. Die ziekte wordt honderd procent door erfelijkheid bepaald. Dat betekent echter niet dat er niets meer aan te doen is. Met een gericht dieet kun je voorkomen dat die kinderen zwakzinnig worden. In dezelfde lijn is het ook zo dat als een kind met een hoge intelligentie vijf jaar in een donkere kast wordt gestopt dat kind laag scoort in een IQ-test."

Cartoon



Reinhold Löffler

≥ Een veilig gevoel ≤

Joost van Kasteren

Rond het chemiebedrijf DSM in Limburg zijn op de kaart lijnen getekend die uitzien als hoogtelijnen. Bij de lijnen staan geen meters, maar merkwaardige getallen als 10^{-8} , 10^{-6} en 10^{-5} . Een dergelijke lijn begrenst het gebied waarbinnen de kans op overlijden als gevolg van een ramp bij DSM respectievelijk één op honderd miljoen, één op een miljoen en één op honderd-duizend is.

De lijnen zijn berekend op basis van een technische risico-analyse van de Limburgse gigant. Een computerprogramma, gevoed met faalkansen voor mensen en apparaten, kan ze in korte tijd produceren. Elegant en betrouwbaar, zo zou men denken.

Groot was dan ook de verbazing bij de ambtenaren van het Nederlandse milieu ministerie, toen de bewoners, het gemeentebestuur van Geleen en de provincie Limburg in opstand kwam tegen de 'veiligheidszones', die de computer had getekend. Men voelde er niets voor om de woonwijken Lindenheuvel en Krawinkel tot 'minder veilige' wijken te laten verklaren, inclusief allerlei planologische belemmeringen. De technisch berekende risico's kwamen in conflict met de risicobeleving van 'het publiek' zelf.

≥ Post-Seveso ≤

Externe veiligheid is één van de hoofdthema's voor het milieubeleid in de komende ja-

ren. Nederland staat aan de vooravond van wat de post-Seveso-richtlijn heet. Een richtlijn van de Europese Commissie, daterend uit 1982, waarin maatregelen worden geëist om omwonenden te beschermen tegen de gevolgen van calamiteiten in (vooral chemische) bedrijven. De naam Seveso slaat terug op een ongeval dat in 1976 plaatsvond bij de Icmesa-fabriek in het Italiaanse

De bewoners van de wijken Lindenheuvel en Krawinkel waren bang dat hun huizen in waarde zouden dalen

plaatsje Seveso. Uit deze chemische fabriek ontsnapte een wolk van het zeer giftige dioxine, met als gevolg een verregaande vervuiling van de omgeving en grote angst bij de omwonenden.

De noodzaak van een richtlijn voor externe veiligheid bleek nog eens enkele jaren geleden toen door een gifwolk in Bhopal in India 2500 mensen de dood vonden en vele duizenden ernstig gewond raakten. In hetzelfde jaar (1984) vernietigde een vuurstorm als gevolg van een ongeluk met vloeibaar gas een complete woonwijk in Mexico-City met circa 500 doden als direct gevolg.

Na dergelijke rampen roepen Nederlandse deskundigen altijd dat zulke dingen in ons land niet voor kunnen komen. Zij zouden beter moeten weten. Hoewel misschien niet exact op dezelfde manier is de kans op falen van mensen of apparatuur nooit helemaal nul. Dat laat de geschiedenis zien. Nog in 1975 vonden veertien mensen de dood bij een gaswolkexplosie op het terrein van DSM in Limburg. Tot kilometers in de omtrek beleefden glaszetters gouden tijden.

Om calamiteiten als gevolg van het werken met gevaarlijk stoffen te beperken staan twee wegen op. Door technische maatregelen (betere apparatuur, vaker inspecteren, betere opleiding van operators) kan men proberen om de kans dat mensen en apparaten falen kleiner te maken. Helemaal nul wordt die helaas nooit en daarom is er nog een tweede weg nodig; het beperken van mogelijke gevolgen. Bijvoorbeeld door geen woningbouw toe te staan in de directe omgeving van een gevaarlijke fabriek.

De Nederlandse vertaling van de post-Seveso richtlijn is gebaseerd op beide benaderingen. Circa zeventig chemiebedrijven in ons land zullen worden verplicht om een 'kwantitatieve risico-analyse' (Engelse afkorting QRA) te maken. Bij zo'n QRA wordt een fabriek nagelopen op zaken die fout kunnen gaan. Tevens wordt de kans vastge-



Straatbeeld in de Geleense wijk Lindenheuvel. De DSM beheerst de horizon. (Foto: Wil Nilwik, Spaubeek).

steld dát er iets fout gaat en berekent men wat daarvan de fysieke gevolgen zullen zijn. Dat kunnen een brand, een explosie, de uitstoot van giftige stoffen of vuurstormen zijn. Door nu een bedrijf grondig na te lopen op faalkansen, kan men vaststellen of en zo ja waar, extra maatregelen nodig zijn. Die maatregelen variëren van het vaker inspecteren van pijpleidingen tot complete vervanging van 'onveilige' installaties.

≥ **Zonering** ≤

Zoals gezegd is dat slechts één kant van het verhaal. De andere kant is het bespreken van de gevolgen door ervoor te zorgen dat zo min mogelijk mensen daaraan blootstaan. Op basis van de kwantitatieve risico-analyse kan men lijnen trekken rond het bedrijf of de installatie, waarbinnen een

zekere kans bestaat op overlijden als gevolg van het eventueel falen van mensen en apparatuur in het bedrijf. Een gaswolkexplosie zal in een dichtbevolkte krottenwijk als in MexicoCity meer gevolgen hebben dan wanneer de installatie in de woestijn had gestaan.

Cruciaal bij 'zonering' is de vraag wat men nog aanvaardbaar vindt. Het Ministerie van Milieu (VROM) gaat ervan uit dat een risico van 10^{-8} verwaarloosbaar is. In gewone mensentaal betekent dit dat iemand staande in het open veld een kans heeft van eens in de honderdmiljoen jaar om te overlijden als gevolg van falen van een chemisch bedrijf. Die kans is uiterst klein; men spreekt wel van een 'act of God'.

Buiten die lijn, de 10^{-8} contour, worden, zo is de bedoeling van het ministerie, geen

beperkingen opgelegd aan activiteiten. Men kan daar rustig woningen, scholen en ziekenhuizen bouwen. Binnen die lijn gelden echter wel beperkingen en wel steeds meer naarmate men dichterbij de fabriek komt. Op die manier probeert men het begrip externe veiligheid via een kwantitatieve risico-analyse te vertalen in ruimtelijk beleid.

Bij de bepaling van de veiligheidszone rond DSM-Limburg zijn de beperkingen van die benadering gebleken. De bewoners van de wijken Lindenheuvel en Krawinkel, het gemeentebestuur en zelfs de provincie Limburg kwamen in verzet tegen de lijnen op de kaart. Aanleiding voor het verzet tegen een dergelijke zonering is volgens burgemeester Lurvink van Geleen dat de betreffende woonwijken een stigma van 'onveiligheid' opgelegd krijgen. De

waarde van de huizen neemt af, de gemeente krijgt geen kans meer om via planologische maatregelen (nieuwbouw) de wijk op peil te houden en het eindigt met 'Liverpool-achtige' toestanden van verkrotting en verpaupering. Gemeente en provincie hebben eind vorig jaar voor een deel gelijk gekregen van de Tweede Kamer. Het idee van een 'grijze' onderhandelingszone (tussen de contouren 10^{-8} en 10^{-6}) heeft minister Nijpels eind november vorig jaar laten vallen. Daarmee is het door de rijksoverheid opgelegde stigma van onveiligheid althans formeel van tafel.

➤ Fundamentele fout ≡

Afgezien van allerlei formele bezwaren tegen de integrale zonering rond DSM ('het was alleen bij wijze van proef', 'het ging om brainstormen, niet om maatregelen') lijkt het erop dat men bij het ministerie een fundamentele fout heeft gemaakt. Een fout die maar al te vaak wordt gemaakt bij risico-analyses. Die fundamentele fout is dat niet het technisch berekende risico maatstaf is voor eventuele gevoelens van onveiligheid bij mensen, maar de mate waarin men risico's aanvaardt. In slecht Nederlands: de 'risico-perceptie'.

Er is een kloof tussen het technisch berekende risico, dat zijn weerslag vindt in 'risico-contouren', en de mate waarin mensen risico's aanvaarden dan wel mijden. Soms is het, laten we maar zeggen, 'subjectieve' risico groter dan het werkelijke risico. Veel mensen zagen af van een boottrip naar Engeland na het ongeluk met de Herald of Free Enterprise, terwijl de kans op herhaling van een dergelijk ongeval vermoede-

lijk kleiner was dan vóór de fatale datum van 7 maart, omdat de bemanningen beter opletten.

Soms ook is het subjectieve risico kleiner dan het werkelijke risico. De automobilist zal zich niet realiseren dat zijn kans op een dodelijk ongeval één op de tienduizend is. Maar diezelfde automobilist stapt misschien wel bibberend van angst in een vliegtuig. Wat dat betreft lijken we allemaal op de stierenvechter die weigert om op vrijdag de dertiende de arena in te gaan. Het verschil tussen het berekende risico (waar overigens nog forse foutenmarges aan kleven in de orde van een factor 100) en het voor mensen aanvaardbare risico maakt het uiterst moeilijk om externe veiligheid in te voeren in het milieubeleid. Men kan natuurlijk proberen om het publiek ervan te overtuigen dat het zich irrationeel gedraagt door bang te zijn voor bepaalde activiteiten. De historie rond kernenergie leert dat die weg vrijwel onbegaanbaar is. Het lijkt dan ook verstandiger om het publiek op enigerlei wijze te betrekken in het beleid rond externe veiligheid. Bijvoorbeeld door voorafgaand aan het vaststellen van technisch berekende zones te onderzoeken hoe men het risico van een chemisch bedrijf in de eigen omgeving evalueert.

Op die manier kan men proberen om mensen te betrekken bij de besluitvorming over externe veiligheid. Dat betekent echter ook dat men niet van bovenaf kan opleggen wat veiligheid is (10^{-8} , eens in de honderdmiljoen jaar) en wat niet. Afgezien van een minimale norm (bijvoorbeeld 10^{-5} op de grens van het fabrieksterrein) zou de rest onderwerp van discussie moeten zijn. ◀

NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Telefoon: 043-254044*.

Voor België:

Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.

Telefoon: 00-3143254044.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, Maastricht.

Advertenties:

R. van Eck: tel. 043-254044.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de Cahiers van de Stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij.

Abonnees op Natuur en Techniek of studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 25,- of 485 F.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto):

Voor Nederland, resp. België:

f 105,- of 2025 F. (per 1-1-'88)

Prijs voor studenten: f 80,- of 1550 F. (per 1-1-'88)

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 10,00 of 200 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.

OPGAVEN &

PRIJSVRAAG

Vragen?

De toetsvragen, bedoeld om de bruikbaarheid van Natuur & Techniek in het onderwijs verder te verhogen, horen deze maand bij het artikel over contactlenzen (pag. 86-98). De vragen zijn opgesteld door drs A.E. van der Valk, vakdidacticus natuurkunde aan de Rijksuniversiteit Utrecht.

Refractieafwijkingen

De dioptrische sterkte van het hoornvlies van een normaal oog is 43,27 D en de sterkte van de

ooglens is 19 D in ongeaccomodeerde toestand.

a. Bereken met behulp van de lenzenformule de afstand van de ooglens tot het netvlies.

De oogafwijking van een jeugdig-bijziende wordt veroorzaakt door een onjuiste vorm van de oogbol: het netvlies is een stukje verschoven ten opzichte van de voor scherp zien gewenste plaats.

b. Licht het brandpunt van het hoornvlies-ooglensstelsel vóór of

achter het netvlies van de bijziende?

c. Bereken de grootte van de refractieafwijking (het stukje dat het netvlies 'verschoven' is) voor het oog van een bijziende dat een corrigerende lens van -4D nodig heeft.

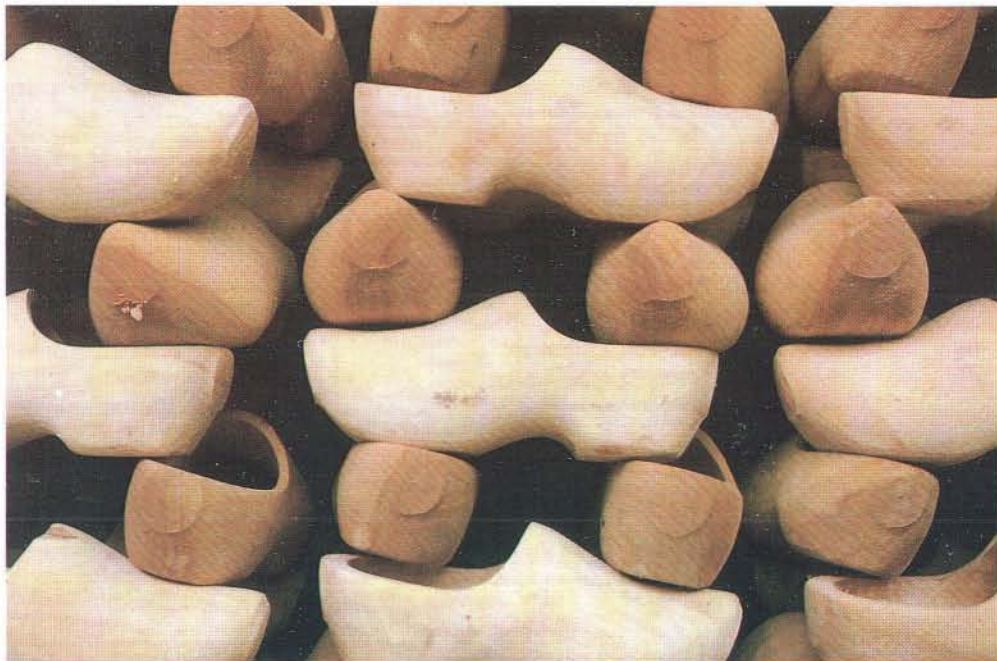
Deze oogafwijking kan gecorrigeerd worden door de kromming van het oppervlak van het hoornvlies te veranderen door middel van een contactlens. Neem voor



De klompenmaker gebruikt zijn techniek om uit het natuurproduct hout schoeisel te maken. De stapeling, zo schrijft ons de fotograaf, doet denken aan een pakking van molekulen in een kristalrooster.

De fotograaf is Luc Coenen uit Hellervoetsluis. Hij vermeldt overigens dat Lidwien Thissen het idee voor de foto leverde. Niettemin is met deze plaatsing een gratis jaarabonnement op Natuur & Techniek verdiend.

Nieuwe inzendingen zijn steeds welkom en te richten aan:
Natuur & Techniek
Foto van de Maand
Postbus 415
6200 AK Maastricht.



de eenvoud aan dat de brekingsindex van de contactlens ongeveer gelijk is aan die van het hoornvlies.

d. Moet de contactlens het oppervlak van het hoornvlies sterker of minder sterk gekromd maken?

e. Schets de vorm van de doorsnede van de contactlens op de oogbol.

Onder water zien

De optische sterkte van het oog verandert aanzienlijk als het oog zich onder water bevindt. Dat wordt veroorzaakt door het verschil in brekingsindex tussen lucht en water.

a. Bereken de sterkte van het oog rond het oog gezien kan worden als een sterk negatieve contactlens.

b. De brekingsindex van water is ongeveer gelijk aan die van het hoornvlies. Bereken met behulp van de gegevens uit het artikel dat de sterkte van de 'watercontactlens' ongeveer -43D dioptrie is.

c. Bereken de sterkte van de mens onder water erg verziend is.

Een correctie voor verziendheid is een positieve contactlens. Deze kan onder water eenvoudig gerepareerd worden door een duikersbril. Deze bril heeft een vlakke voorkant van glas. Tussen het glas en het oog is lucht opgesloten.

d1. Bereken de sterkte van de 'luchtlens' voor het oog een plat-holle lens is.

d2. Laat zien dat zo'n plat-holle luchtlens in water een positieve lens is.

d3. Bereken de sterkte van de lens juist de goede sterkte voor een normaal oog heeft.

Mensen met een sterk negatieve oogafwijking kunnen onder water wat beter zien dan mensen zonder oogafwijking.

e1. Verklaar dat.

e2. Verklaar dat astigmatisme onder water vrijwel geheel gecorrigeerd zijn.

Contactlenzen en astigmatisme

Astigmatisme veroorzaakt wordt meestal veroorzaakt door een afwijking in de kromming van het hoornvlies.

a. Beschrijf de afwijkende beeldvorming in een oog met astigmatisme.

b. Bereken de sterkte van de traanvocht tussen het hoornvlies en een harde contactlens een cilindrische lens vormt.

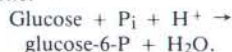
c. Bereken met behulp van de brekingsindices die in het artikel gegeven zijn, dat deze cilindrische lens de astigmatisme oogafwijking vrijwel corrigeert.

langrijke energiebron voor leven- de wezens. In elk organisme vindt de eerste stap in de afbraak van glucose anaëroob plaats. De essentiële reacties in dit proces, de glycolyse, staan hieronder.

a. Geef de totaalvergelijking voor de omzetting van glucose tot pyruvaat en bereken de verandering in de vrije enthalpie (= Gibbs energie, ΔG) van die omzetting.

b. Bereken de evenwichtsconstante van reactie 3 bij 25°C.

c. De verandering in vrije enthalpie van de hydrolyse van ATP bedraagt $-30,6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Bereken de evenwichtsconstante voor de reactie:



Oplossingen moeten op 14 maart op de redactie gearriveerd zijn om mee te dingen naar de maandprijs of om geregistreerd te worden voor de laddercompetitie.

Adres:

Natuur & Techniek

Prijsvraag

Postbus 415

6200 AK Maastricht

Onder de goede inzenders wordt een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek verloot. Voor de laddercompetitie is maximaal 6 punten te verdienen, voor ieder onderdeel 2.

Prijsvraag

De oplossing van het biljartprobleem uit het decembernummer houdt u te goed. Wegens plaatsgebrek kunnen we die hier niet kwijt. Met excuses.

De nieuwe opgave

We zijn weer aan een chemieopgave toe, als steeds verstrekt door de organisatie van de Nederlandse Chemie Olympiade.

Koolhydraten vormen een be-

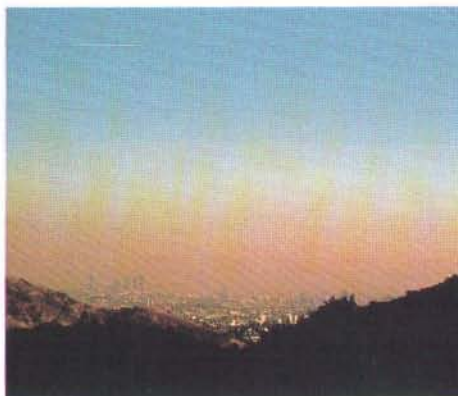
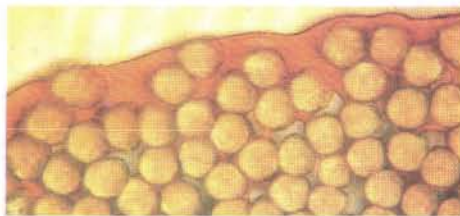
	ΔG ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)
1) $\text{Glucose} + \text{ATP} \rightarrow \text{glucose-6-P} + \text{ADP} + \text{H}^+$	- 16,7
2) $\text{Glucose-6-P} \rightarrow \text{fructose-6-P}$	+ 1,7
3) $\text{Fructose-6-P} + \text{ATP} \rightarrow \text{fructose-1,6-diP} + \text{ADP} + \text{H}^+$	- 14,2
4) $\text{Fructose-1,6-diP} \rightarrow \text{dihydroxyaceton-P} + \text{glyceraldehyde-3-P}$	+ 24,0
5) $\text{Dihydroxyaceton-P} \rightarrow \text{glyceraldehyde-3-P}$	+ 7,7
6) $\text{Glyceraldehyde-3-P} + \text{P}_i + \text{NAD}^+ \rightarrow \text{1,3-diP-glyceraat} + \text{H}^+ + \text{NADH}$	+ 6,3
7) $\text{1,3-diP-glyceraat} + \text{ADP} + \text{H}^+ \rightarrow \text{3-P-glyceraat} + \text{ATP}$	- 18,8
8) $\text{3-P-glyceraat} \rightarrow \text{2-P-glyceraat}$	+ 4,4
9) $\text{2-P-glyceraat} \rightarrow \text{fosfoenolpyruvaat}$	+ 1,8
10) $\text{Fosfoenolpyruvaat} + \text{ADP} + \text{H}^+ \rightarrow \text{Pyruvaat} + \text{ATP}$	- 31,4
11) $\text{Pyruvaat} + \text{NADH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{lactaat} + \text{NAD}^+$	- 25,1

VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

Composieten

Composieten zijn composities van verschillende materialen, met de bedoeling om gunstige eigenschappen van elk te combineren. Prof dr J.Th.M. de Hos-

son beschrijft de werkwijze van composieten en de vele toepassingsmogelijkheden die voor dergelijke materialen bestaan, met name in de vliegtuigindustrie.



Broeikaseffect

Op het eerste gezicht is het natuurlijk aantrekkelijk, als in onze streken de temperatuur wat zou stijgen. Toch, zo stelt drs P.A. Okken, zouden we wel eens van de regen in de wateroverlast kunnen komen als de meest vergaande voorspellingen met betrekking tot de uitstoot van koolstofdioxide bewaarheid worden.

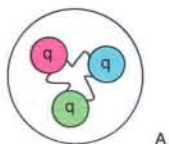
Evenwicht

Wie denkt dat ons evenwicht wordt geregeld door het evenwichtsorgaan dat zich vlakbij de oren bevindt, heeft het maar ten dele bij het juiste eind. Prof dr ir H.P. Wit laat zien dat ook de ogen en zintuigjes in onze spieren helpen om ons overeind te houden en evenwichtsverstoringen te verwerken.

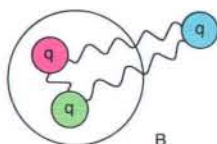
Unificatie

De juiste aard van de materie en de krachten tussen materie blijft de fantasie prikkelen. Prof dr G. 't Hooft gaat in op de meest moderne pogingen om de basale

natuurkrachten onder één noemer te brengen. En dan gaat het over lijnvormige materie, technicolour en natuurlijke natuurtheorieën.



A



B



Osteocalcine

Dat onze botten kalk bevatten, is algemeen bekend. Maar hoe die kalk er gebonden wordt, is zelfs de onderzoekers in vele opzichten nog onduidelijk. Dr C.G. Groot en dr C. Vermeer tonen aan dat het kleine eiwit osteocalcine en vitamine K een rol spelen. Maar zij laten ook zien dat er op veel punten nog onzekerheid is.

Grondwater

Het wordt steeds moeilijker om grondwater als bron van drinkwater te gebruiken. In sommige delen van Europa zijn de voorraden te

klein, elders worden ze door milieuverontreiniging bedreigd. Prof dr J.J. Fried betoogt dat we alleen verantwoord met grondwater omgaan, door het als economisch goed te beschouwen.



Cahiers Bio-wetenschappen en Maatschappij

Aan het onderzoek naar de verkeersveiligheid dragen veel wetenschapsgebieden bij. Vooral de gedragswetenschappen leveren veel nieuwe inzichten, maar ook de biowetenschappen dragen hun steentje bij als het gaat om de invloed van alcohol, geneesmiddelen en vermoeidheid op het rijgedrag. Van alcohol is algemeen bekend dat het funest kan zijn, al trekken veel automobilisten zich daar niets van aan. De invloed van geneesmiddelen is veel minder bekend. Veel ongelukken ontstaan door menselijke fouten, ook omdat mensen nu eenmaal geneigd zijn risico's te nemen. Als het toch goed gaat is dat weer een stimulans om de risico's opnieuw te nemen. Gedrag is geïndividualiseerd, wat hoge eisen stelt aan het verantwoordelijkheidsbesef van ieder afzonderlijk, juist ook als het om deelname aan het verkeer gaat.



Inhoud en auteurs

Gedrag, de oorzaak van verkeersonveiligheid

W.A. Wagenaar

Uitkijken in het verkeer

J.B.J. Riemersma en J. Godthelp

Alcohol en verkeer

P.C. Noordzij

De invloed van geneesmiddelen

J.F. O'Hanlon en J.J. de Gier

Het verkeer als werkterrein

K.A. Brookhuis

Verkeersveiligheid en beleid

M.J. Koornstra

U wordt verdacht van rijden onder invloed

M.E.F. Prins

Voor abonnees op de Cahiers Biowetenschappen en Maatschappij is dit nummer 3 van de 12e jaargang.

Abonnementsprijs (4 cahiers per jaar) f 25,00 of 485 F. Losse nummers f 7,50 of 145 F (excl. verzendkosten).

Verkrijgbaar bij: Natuur en Techniek – Informatiecentrum – Op de Thermen – Postbus 415 – 6200 AK Maastricht – Tel. 043-254044. Vanuit België: 00-31-43254044.